



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA TELECOMUNICACIONES**

**“ANÁLISIS Y DISEÑO TÉCNICO DE UNA RED ÓPTICA  
MEDIANTE LA OLT ZTE ZXA10 C320 PARA LA EMPRESA RIO  
RED EN LA PARROQUIA LIZARZABURU DE LA CIUDAD DE  
RIOBAMBA”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR:**

**CRISTIAN DAVID CASA CASA**

Riobamba – Ecuador

2024



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA TELECOMUNICACIONES**

**“ANÁLISIS Y DISEÑO TÉCNICO DE UNA RED ÓPTICA  
MEDIANTE LA OLT ZTE ZXA10 C320 PARA LA EMPRESA RIO  
RED EN LA PARROQUIA LIZARZABURU DE LA CIUDAD DE  
RIOBAMBA”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR: CRISTIAN DAVID CASA CASA**

**DIRECTOR: Ing. OSWALDO GEOVANNY MARTÍNEZ GUASHIMA**

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Cristian David Casa Casa

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Cristian David Casa Casa, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de junio de 2024

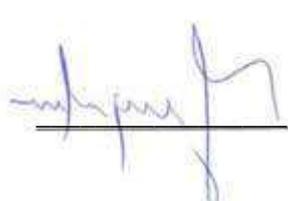


**Cristian David Casa Casa**

**C. I: 050290401-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA TELECOMUNICACIONES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, “ANÁLISIS Y DISEÑO TÉCNICO DE UNA RED ÓPTICA MEDIANTE LA OLT ZTE ZXA10 C320 PARA LA EMPRESA RIO RED EN LA PARROQUIA LIZARZABURU DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, realizado por el señor: **CRISTIAN DAVID CASA CASA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Franklin Geovanni Moreno Montenegro <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-06-13
Ing. Oswaldo Geovanny Martínez Guashima <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2024-06-13
Ing. Jorge Vicente Yuquilema Illapa <b>ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2024-06-13

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a Dios, por demostrarme que con paciencia, dedicación y esfuerzo todas las metas propuestas pueden ser cumplidas. A mis amados padres Germánico y Martha que gracias a su comprensión y apoyo incondicional a lo largo de toda esta etapa universitaria. A mis queridos hermanos Daniel y Lady que de una u otra manera siempre confiaron en mí. A ese ser especial que ha llegado a formar parte de mi vida Jacque por brindarme su amor y confianza, a ella que siempre tuvo una palabra de aliento en momentos difíciles. A mi amada hija Danna que con su dulce inocencia siempre estuvo ahí brindándome su apoyo, quiero que sepas que todo es por ti. Finalmente, a mi familia y amigos que con su apoyo moral me ayudaron a culminar esta etapa.

Cristian

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Informática y Electrónica carrera de Telecomunicaciones por haberme permitido formarme como profesional, a cada una de sus docentes en especial a mi director de trabajo de titulación Ing. Oswaldo Martínez por brindarme ese apoyo y conocimientos durante todo el proceso de investigación. A la empresa RIO RED por haber confiado en mi persona para desarrollar este trabajo de investigación. Finalmente, a mis amigos, gracias por brindarme un poco de su compañía y su conocimiento sin duda cada uno de ustedes aportó mucho para que hoy en día esta etapa haya culminado.

¡Muchas gracias a todos!

Cristian

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Sistematización del problema.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.4.1. <i>Justificación teórica</i> .....	3
1.4.2. <i>Justificación aplicada</i> .....	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.5.2. <i>Objetivo específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Historia de la fibra óptica.....	6
2.2. Espectro Electromagnético.....	7
2.3. Sistema óptico de comunicaciones.....	7
2.3.1. <i>Fibra óptica</i> .....	8
2.3.2. <i>Estructura de una fibra óptica</i> .....	8
2.3.2.1. Núcleo.....	8
2.3.2.2. Revestimiento.....	8
2.3.2.3. Recubrimiento.....	8
2.3.3. <i>Tipos de fibra óptica</i> .....	9
2.3.3.1. Monomodo.....	9
2.3.3.2. Multimodo.....	9

2.3.3.3.	Fibra de sílice: .....	10
2.3.3.4.	<i>Fibra de plástico</i> .....	10
2.4.	<b>Red óptica pasiva (PON)</b> .....	10
2.4.1.	<i>Elementos de Red PON</i> .....	11
2.4.1.1.	<i>Red de alimentación</i> .....	11
2.4.1.2.	<i>Red de distribución</i> .....	11
2.4.1.3.	<i>Red de Dispersión</i> .....	11
2.4.2.	<b>Tipos de redes pon</b> .....	11
2.4.2.1.	<i>Apon</i> .....	11
2.4.2.2.	<i>Bpon</i> .....	12
2.4.2.3.	<i>Epon</i> .....	12
2.4.2.4.	<i>Gpon</i> .....	12
2.4.3.	<b>Tecnología GPON</b> .....	13
2.4.3.1.	<i>Componentes de una red óptica</i> .....	13
2.5.	<b>Redes FTTX</b> .....	17
2.5.1.	<i>FTTH (Fiber to the Home)</i> .....	17
2.5.2.	<i>FTTB (Fiber to the Building)</i> .....	17
2.5.3.	<i>FTTC (Fiber to the Curb/Cabinet)</i> .....	17
2.5.4.	<i>FTTN (Fiber to the Node)</i> .....	17
2.5.5.	<i>FTTdp (Fiber to the Distribution Point)</i> .....	18
2.6.	<b>Normas de fibra óptica</b> .....	18
2.6.1.	<b>Normas de la ITU-T:</b> .....	18
2.6.1.1.	<i>G.984.x (GPON)</i> .....	18
2.6.1.2.	<i>G.987.x (XG-PON)</i> .....	18
2.6.1.3.	<i>G.988 (OMCI)</i> .....	18
2.6.1.4.	<i>G.652 (ITU-T)</i> .....	18
2.6.2.	<b>Normas del IEEE:</b> .....	18
2.6.2.1.	<i>802.3 (Ethernet)</i> .....	18
2.6.2.2.	<i>802.3ah (EPON)</i> .....	19
2.6.3.	<b>Normas de la FTTH Council:</b> .....	19
2.7.	<b>Arquitectura de transmisión</b> .....	19
2.7.1.	<i>Downstream</i> .....	19
2.7.2.	<i>Upstream</i> .....	20
2.8.	<b>Ber (bit error radio)</b> .....	21
2.8.1.	<i>Pruebas de la tasa de error de bits</i> .....	21
2.8.2.	<b>Parámetros de transmisión</b> .....	22
2.8.2.1.	<i>Factor Q</i> .....	22

2.8.2.2.	DWDM.....	22
2.8.2.3.	Atenuación:.....	23
2.8.2.4.	Dispersión: .....	23
2.8.2.5.	Ancho de banda: .....	23
2.8.2.6.	Pérdida de retorno: .....	23
2.8.2.7.	Relación señal-ruido (SNR):.....	24
2.8.2.8.	Diafonía:.....	24
2.8.2.9.	Polarización: .....	25
2.8.2.10.	Longitud de onda:.....	25
2.8.2.11.	Índice de refracción: .....	25
2.8.2.12.	Apertura numérica (NA):.....	25
2.9.	Diagrama de ojo.....	25
2.10.	Olt zte zxa10 C320 .....	28
2.10.1.	Características principales de la OLT ZTE ZXA10 C320 .....	28
2.11.	Optisystem.....	29

### CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO .....	31
3.1.	Metodología de la investigación.....	31
3.1.1.	Métodos de investigación.....	31
3.1.2.	Enfoque .....	31
3.1.3.	Técnicas.....	32
3.2.	Metodología para el diseño de la red óptica .....	32
3.2.1.	Descripción del escenario .....	32
3.2.2.	Estudio de la demanda.....	33
3.2.2.1.	Población.....	33
3.2.2.2.	Tamaño de muestra .....	34
3.2.2.3.	Análisis de resultados.....	35
3.2.3.	Diseño lógico de la red FTTH.....	41
3.2.3.1.	Delimitación geográfica.....	41
3.2.3.2.	Arquitectura de la red G-PON .....	43
3.2.3.3.	Topología de la red G-PON .....	43
3.2.4.	Determinación del Ancho de Banda .....	44
3.2.5.	Diseño de red FTTH.....	45
3.2.5.1.	Terminal de línea óptica (OLT).....	45
3.2.5.2.	Distribuidor de fibra óptica (ODF).....	47

3.2.5.3.	<i>Red troncal</i> .....	47
3.2.5.4.	<i>Red de distribución</i> .....	59
3.2.5.5.	<i>Red de dispersión</i> .....	67
3.2.5.6.	<i>Red interna</i> .....	68
3.2.6.	<b><i>Diseño físico de red FTTH</i></b> .....	68
3.2.6.1.	<i>Elementos activos</i> .....	68
3.2.6.2.	<i>Elementos Pasivos</i> .....	71
3.3.	<b>Presupuesto de enlace</b> .....	75
3.3.1.	<b><i>Cálculo del usuario más cercano</i></b> .....	77
3.3.2.	<b><i>Cálculo del usuario más lejano</i></b> .....	77
3.3.3.	<b><i>Balance óptico de potencia</i></b> .....	78
3.3.3.1.	<i>Balance de potencia del usuario más cercano</i> .....	78
3.3.3.2.	<i>Balance de potencia del usuario más lejano</i> .....	78

## CAPÍTULO IV

4.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE Resultados</b> .....	79
4.1.	<b>Simulación de la red GPON</b> .....	79
4.1.1.	<b><i>Desarrollo de la simulación</i></b> .....	79
4.1.1.1.	<i>Descripción OLT</i> .....	79
4.1.1.2.	<i>Descripción de la ODN</i> .....	82
4.1.1.3.	<i>Descripción de la ONU/ONT</i> .....	82
4.2.	<b>Evaluación de resultados</b> .....	84
4.2.1.	<b><i>Potencia</i></b> .....	85
4.2.1.1.	<i>Potencia a la salida de la OLT</i> .....	85
4.2.1.2.	<i>Potencia recibida por el usuario más cercano</i> .....	85
4.2.1.3.	<i>Potencia recibida por el usuario más lejano</i> .....	86
4.2.2.	<b><i>Espectro de la señal</i></b> .....	86
4.2.3.	<b><i>Factor de calidad Q y BER (Bit error ratio)</i></b> .....	89
4.2.3.1.	<i>Usuario más cercano</i> .....	89
4.2.3.2.	<i>Usuario más lejano</i> .....	91
4.2.4.	<b><i>Diagrama de ojo</i></b> .....	93
4.2.4.1.	<i>Usuario más cercano</i> .....	94
4.2.4.2.	<i>Usuario más lejano</i> .....	95

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>5.1.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>98</b>
<b>5.2.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>99</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Características Factor Q .....	22
<b>Tabla 2-2:</b>	Tipos de DWM.....	23
<b>Tabla 3-1:</b>	Cantidad de viviendas por zona.....	34
<b>Tabla 3-2:</b>	Número de usuarios que poseen servicios de telecomunicaciones.....	35
<b>Tabla 3-3:</b>	Grado de satisfacción del servicio contratado .....	36
<b>Tabla 3-4:</b>	Tipo de conexión para el servicio de internet.....	37
<b>Tabla 3-5:</b>	Número de usuarios que conocen las redes GPON .....	38
<b>Tabla 3-6:</b>	Costo de servicio por medio de fibra óptica.....	39
<b>Tabla 3-7:</b>	Número de usuarios que contratarían un plan de internet. ....	40
<b>Tabla 3-8:</b>	Características ZTE ZX10 C320 .....	69
<b>Tabla 3-9:</b>	Características ZTE F660 V8.0 .....	70
<b>Tabla 3-10:</b>	Características ODF TYCO.....	71
<b>Tabla 3-11:</b>	Divisores de potencia .....	72
<b>Tabla 3-12:</b>	Características Manga TW-Z302-288JF-C .....	73
<b>Tabla 3-13:</b>	Características cable fibra óptica.....	75
<b>Tabla 3-14:</b>	Atenuación de elementos pasivos.....	76

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Espectro Electromagnético.....	7
<b>Ilustración 2-2:</b>	Estructura de una fibra óptica.....	9
<b>Ilustración 2-3:</b>	Red Pon .....	11
<b>Ilustración 2-4:</b>	Topología GPON.....	13
<b>Ilustración 2-5:</b>	Fibra óptica.....	14
<b>Ilustración 2-6:</b>	Splitters Ópticos .....	14
<b>Ilustración 2-7:</b>	Adaptadores ópticos .....	15
<b>Ilustración 2-8:</b>	Amplificador Óptico .....	15
<b>Ilustración 2-9:</b>	Divisor de Potencia .....	15
<b>Ilustración 2-10:</b>	Caja de Empalme .....	16
<b>Ilustración 2-11:</b>	OLT en una red óptica.....	16
<b>Ilustración 2-12:</b>	Transmisión de datos en downstream .....	20
<b>Ilustración 2-13:</b>	Transmisión de datos en Upstream .....	20
<b>Ilustración 2-14:</b>	Diagrama de ojo .....	26
<b>Ilustración 2-15:</b>	Doble párpado .....	27
<b>Ilustración 2-16:</b>	Ojos inyectados en sangre .....	27
<b>Ilustración 2-17:</b>	Típico diagrama de ojo.....	28
<b>Ilustración 2-18:</b>	Dispositivo ZTE ZX10 C320 .....	28
<b>Ilustración 2-19:</b>	OptiSystem.....	30
<b>Ilustración 3-1:</b>	Localización geográfica parroquia Lizarzaburu.....	33
<b>Ilustración 3-2:</b>	Usuarios que poseen servicios de telecomunicaciones .....	35
<b>Ilustración 3-3:</b>	Grado de satisfacción del servicio contratado .....	36
<b>Ilustración 3-4:</b>	Tipo de conexión.....	37
<b>Ilustración 3-5:</b>	Usuarios que conocen sobre las redes GPON .....	38
<b>Ilustración 3-6:</b>	Costo de servicio .....	39
<b>Ilustración 3-7:</b>	Contratación de servicio.....	40
<b>Ilustración 3-8:</b>	Parroquia Lizarzaburu AutoCAD.....	42
<b>Ilustración 3-9:</b>	Sectorización de la parroquia Lizarzaburu .....	42
<b>Ilustración 3-10:</b>	Arquitectura de la red.....	43
<b>Ilustración 3-11:</b>	Topología de la red.....	43
<b>Ilustración 3-12:</b>	Ubicación OLT geográficamente .....	46
<b>Ilustración 3-13:</b>	Ubicación OLT.....	46
<b>Ilustración 3-14:</b>	Red Feeder .....	47
<b>Ilustración 3-15:</b>	Nomenclatura del cable Feeder. ....	48

<b>Ilustración 3-16:</b>	Ubicación mangas M_01 y M_02 .....	49
<b>Ilustración 3-17:</b>	Ubicación mangas M_03y M_04 .....	50
<b>Ilustración 3-18:</b>	Ubicación manga M_05 .....	51
<b>Ilustración 3-19:</b>	Ubicación manga M_06 .....	52
<b>Ilustración 3-20:</b>	Ubicación manga M_07 .....	53
<b>Ilustración 3-21:</b>	Ubicación manga M_08 .....	53
<b>Ilustración 3-22:</b>	Ubicación mangas M_09 y M_10 .....	54
<b>Ilustración 3-23:</b>	Ubicación manga M_12 .....	55
<b>Ilustración 3-24:</b>	Ubicación manga M_11 .....	55
<b>Ilustración 3-25:</b>	Ubicación manga M_13 .....	56
<b>Ilustración 3-26:</b>	Ubicación manga M_15 .....	57
<b>Ilustración 3-27:</b>	Ubicación manga M_14 .....	58
<b>Ilustración 3-28:</b>	Ubicación manga M_16 .....	58
<b>Ilustración 3-29:</b>	Ubicación de mangas troncales .....	59
<b>Ilustración 3-30:</b>	Nomenclatura de la red de distribución.....	59
<b>Ilustración 3-31:</b>	Red de distribución zona I .....	60
<b>Ilustración 3-32:</b>	Red de distribución zona II. ....	61
<b>Ilustración 3-33:</b>	Red de distribución zona III. ....	62
<b>Ilustración 3-34:</b>	Red de distribución zona IV. ....	63
<b>Ilustración 3-35:</b>	Red de distribución zona V . ....	64
<b>Ilustración 3-36:</b>	Red de distribución zona VI .....	65
<b>Ilustración 3-37:</b>	Red de distribución zona VII. ....	66
<b>Ilustración 3-38:</b>	Red de distribución zona VIII. ....	67
<b>Ilustración 3-39:</b>	OLT ZTE ZX10 C320.....	68
<b>Ilustración 3-40:</b>	ONT ZTE F660 .....	70
<b>Ilustración 3-41:</b>	Red de distribución zona VIII. ....	71
<b>Ilustración 3-42:</b>	Divisores de potencia 1x8 .....	72
<b>Ilustración 3-43:</b>	Manga tipo domo .....	73
<b>Ilustración 3-44:</b>	Red de distribución zona VIII. ....	74
<b>Ilustración 3-45:</b>	Red de distribución zona VIII. ....	74
<b>Ilustración 3-46:</b>	Red de distribución zona VIII. ....	76
<b>Ilustración 4-1:</b>	Transmisor óptico TX .....	80
<b>Ilustración 4-2:</b>	Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) .....	81
<b>Ilustración 4-3:</b>	Red ODN.....	82
<b>Ilustración 4-4:</b>	Recepción óptico Rx .....	83
<b>Ilustración 4-5:</b>	Demultiplexación por división de longitud de onda (DWDM).....	84
<b>Ilustración 4-6:</b>	Potencia suministrada por la OLT.....	85

<b>Ilustración 4-7:</b>	Potencia recibida a la ONT del usuario más cercano.....	85
<b>Ilustración 4-8:</b>	Potencia recibida a la ONT del usuario más lejano.....	86
<b>Ilustración 4-9:</b>	Espectro de la señal de transmisión para audio y datos.....	87
<b>Ilustración 4-10:</b>	Espectro de la señal de transmisión para video.....	88
<b>Ilustración 4-11:</b>	Espectro de la señal a la salida de la OLT.....	89
<b>Ilustración 4-12:</b>	Factor Q y BER del receptor de audio/datos del usuario más cercano.....	90
<b>Ilustración 4-13:</b>	Factor Q y BER del receptor de video del usuario más cercano .....	91
<b>Ilustración 4-14:</b>	Factor Q y BER del receptor de audio/datos del usuario más lejano .....	92
<b>Ilustración 4-15:</b>	Factor Q y BER del receptor de video del usuario más lejano.....	93
<b>Ilustración 4-16:</b>	Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más cercano.....	94
<b>Ilustración 4-17:</b>	Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más cercano .....	95
<b>Ilustración 4-18:</b>	Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más lejano .....	96
<b>Ilustración 4-19:</b>	Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más lejano .....	97

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** SECTORIZACIÓN PARROQUIA LIZARZABURU

**ANEXO B:** DATASHEET ZXA10 C320

**ANEXO C:** SIMULACIÓN OPTISYSTEM

## RESUMEN

El rápido avance de la tecnología en el área de las telecomunicaciones exige a las empresas proveedoras de servicios de internet (ISP) a mejorar continuamente sus ofertas de conexión, por lo tanto. El objetivo principal fue analizar y diseñar una red óptica mediante la OLT ZTE ZXA10 C320 para la empresa RIO RED en la parroquia Lizarzaburu de la ciudad de Riobamba. Para ello, se recopiló información y documentación necesarias para caracterizar los componentes del diseño de una red con tecnología Gigabit Passive Optical Network (GPON), además de las normativas y recomendaciones pertinentes para la correcta implementación de esta tecnología de comunicación por fibra óptica, asegurando velocidades simétricas de 622 Mbit/s y 1.25 Gbit/s, así como velocidades asimétricas de 77.75 Mbit/s en descarga y 38.86 Mbit/s en subida, a una distancia máxima de 20 km. El diseño final abarca 8 zonas, cada uno incluyendo sus propios elementos de construcción, cálculos de enlace y presupuesto óptico para garantizar la calidad de los servicios proporcionados por la empresa, para evaluar el rendimiento de la red, se realizó una simulación en el software OptiSystem, donde se analizó el comportamiento de las señales de datos junto con sus correspondientes niveles de potencia al llegar al usuario final. Se concluyó que el diseño de la red GPON proporciona un funcionamiento satisfactorio y un servicio de transmisión de datos de calidad para todos los abonados del área de estudio.

**Palabras clave:** <TELECOMUNICACIONES>, <GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON)>, <NORMATIVA ITU-T G.984.x>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>, <RIOBAMBA (CANTON)>.

0987-DBRA-UPT-2024



## SUMMARY

The accelerated advancement of technology in the telecommunications field requires internet service providers (ISPs) to improve their connection offerings continually. The primary objective of this study was to analyze and design an optical network using the ZTE ZX10 C320 Optical Line Terminal (OLT) for the company RIO RED in the Lizarzaburu parish of Riobamba City. To achieve this, the necessary information and documentation were gathered to characterize the components of a network design based on Gigabit Passive Optical Network (GPON) technology. Additionally, relevant standards and recommendations for the proper implementation of this fiber optic communication technology were considered, ensuring symmetric speeds of 622 Mbit/s and 1.25 Gbit/s, as well as asymmetric speeds of 77.75 Mbit/s download and 38.86 Mbit/s upload, over a maximum distance of 20 km. The final design covers eight zones, each including its construction elements, link calculations, and optical budget to ensure the quality of services the company provides. To evaluate network performance, a simulation was conducted using OptiSystem software, where the behavior of data signals with their corresponding power levels upon reaching the user. The study concluded that the GPON network design offers satisfactory operation and high-quality data transmission services for all subscribers in the study area.

**KEYWORDS:** <TELECOMMUNICATIONS>, <GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON)>, <ITU-T G.984.x REGULATION>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>.



---

Lic. Maritza Larrea Mg.

0603370784

## **INTRODUCCIÓN**

En la era digital actual, la conectividad confiable y de alta velocidad es fundamental para el funcionamiento eficiente y óptimo de las redes de comunicación. En este contexto, las redes ópticas han surgido como una solución robusta y eficaz para satisfacer las crecientes demandas de ancho de banda y velocidad de transmisión por parte de los clientes. El análisis y diseño técnico de una red óptica es un proceso crítico que implica la evaluación de diversos parámetros técnicos y la planificación cuidadosa de la infraestructura necesaria para garantizar un rendimiento óptimo y una fiabilidad excepcional.

Las redes ópticas ofrecen numerosas ventajas sobre las tecnologías de transmisión tradicionales, como el cableado de cobre, debido a su capacidad para transportar grandes volúmenes de datos a velocidades ultra rápidas y con una mínima degradación de la señal. Esta capacidad las hace ideales para aplicaciones que requieren un ancho de banda elevado y una latencia baja, como la transmisión de video de alta definición, el acceso a internet de alta velocidad y las comunicaciones empresariales de misión crítica.

El presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis y diseño exhaustivo de los aspectos técnicos involucrados en la infraestructura de una red óptica, desde la selección de los componentes de hardware hasta la configuración de los parámetros de transmisión. Se abordarán temas como la topología de la red, la selección de los tipos de fibra óptica y los equipos de transmisión, así como las consideraciones de seguridad y redundancia. Además, se explorarán las mejores prácticas de diseño y se propondrán soluciones innovadoras para optimizar el rendimiento y la fiabilidad de la red.

En resumen, este estudio se propone ofrecer una guía completa para el análisis y diseño técnico de una red óptica, con el fin de ayudar a La Empresa Rio Red en la Parroquia Lizarzaburu de la Ciudad de Riobamba a implementar soluciones eficientes y escalables que satisfagan las necesidades actuales y futuras de los clientes.

Es por ello que el Capítulo I da a conocer los antecedentes del presente proyecto de investigación, así como también la justificación y los Objetivos. El Capítulo II se centra en dar a conocer el estado del arte de los conceptos que se utilizarán a lo largo de la investigación. El Capítulo III aborda todo el Marco Metodológico, es decir las metodologías utilizadas para alcanzar y dar respuesta a los objetivos propuestos. Finalmente, el Capítulo IV se analiza los resultados obtenidos y esperados de acuerdo con el cronograma de estudio.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

A nivel mundial, el despliegue de redes de fibra óptica es una cuestión clave en el desarrollo digital de los territorios, con el objetivo en particular, de proporcionar un acceso generalizado a todos, tanto a los individuos como a las empresas a la banda ancha de muy alta velocidad. Es por tal motivo que las grandes organizaciones mundiales de las telecomunicaciones como empresas proveedoras siempre buscan algo nuevo e innovador que pueda satisfacer con las necesidades del usuario. Actualmente podemos encontrar esta tecnología en casi todo el mundo, excepto en alguna parte de Asia, Europa Oriental y África. Los principales suministradores de equipos de telecomunicaciones (Alcatel-Lucent, Huawei, Nokia, ZTE, etc) brindan soluciones GPON (Mena Roa, 2021).

En América Latina cada vez son más operadores y gobiernos que están trabajando en redes de fibra óptica al hogar para mejorar los servicios. Especialmente, este es el caso de aquellas empresas con extensas redes de cobre, que en los últimos años vienen desplegando nueva infraestructura y migrando a sus clientes hacia la fibra óptica. Las cifras de Fiber Broadband Association indican un crecimiento de las conexiones de fibra óptica al hogar en toda la región. América Latina contaba con cerca de 54.5 millones de casas pasadas con redes FTTH/B y unos 19.4 millones de usuarios conectados (Pautasio, 2020, p. 1).

En Ecuador existen muchos Proveedores de Servicio de Internet (ISP), en el cual se encarga de conectar usuarios finales y negocios al Internet, con redes de fibra óptica y tecnología GPON. Debido al alto número de proveedores existe una alta competencia en cuanto ya sea a precios, calidad, garantía de servicio, etc. Sin embargo, una empresa sobresale de otras por garantizar una mejor calidad de servicio (QoS), ofreciéndole velocidad, estabilidad, seguridad y disponibilidad entre otros factores.

En la ciudad de Riobamba en donde se va a realizar el proyecto existen ya estudios investigativos para el diseño de una red óptica con tecnología GPON en diferentes sectores, que ayudara al desarrollo de la presente investigación. En el estudio realizado por Gómez y Morejón (2013, pp. 20-35) recomienda la utilización de la red GPON, debido a su gran ancho de banda, seguridad y principalmente bajo costo en los equipos.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

¿El diseño de una red óptica con tecnología GPON mediante la OLT ZTE ZXEA10 C320 en la parroquia Lizarzaburo de la ciudad de Riobamba permitirá a los usuarios de la empresa de telecomunicaciones RIO RED brindar un mejor servicio de internet?

## **1.3. Sistematización del problema**

- ¿Qué arquitectura y cómo funciona la tecnología GPON?
- ¿Cuál es la demanda de servicios de comunicación como servicios de internet en la parroquia Lizarzaburo de la ciudad de Riobamba?
- ¿Se puede proponer un nuevo sistema de telecomunicaciones para la empresa RIORED mediante el diseño de una red óptica para la parroquia Lizarzaburo?
- ¿Cómo se evaluará los resultados de estudio y diseño de red, mediante implementación o simulación?

## **1.4. Justificación**

### ***1.4.1. Justificación teórica***

Debido a la alta demanda de usuarios, en la actualidad, la tecnología avanza a lo que conlleva a que las redes actuales no satisfagan en velocidades a los nuevos servicios multimedia que están apareciendo. Por ende, la calidad de servicios se ha originado tanto para satisfacer necesidades de la empresa y del usuario, con el avance de la tecnología se han creado muchos parámetros los cuales necesitan ser cumplidos.

Considerando que resulta óptimo el estudio y diseño de soluciones de última generación que permitan proponer una alternativa, como redes ópticas pasivas PON, misma que se apalanca en medios de transmisión guiados como es FTTH, de tal manera ofrecer servicios y aplicaciones a través de una sola infraestructura de red de acceso. Por lo expuesto, el presente trabajo de investigación surge de la necesidad que tiene la empresa RIO RED de adecuar los servicios de telecomunicaciones tradicional con el que cuentan algunos de sus clientes de la Parroquia Lizarzaburo, ubicada en la ciudad de Riobamba para que formen parte de una red convergente pasiva y así ofrecer beneficios tecnológicos para los usuarios y beneficios económicos para el proveedor.

El proyecto radica en el diseño de una red óptica tecnología GPON utilizando una OLT ZTE C320 específicamente, dicho proyecto está basado en normas y estándares internacionales para brindar un servicio óptimo con un costo accesible, excelente calidad y el uso óptimo del ancho de banda acorde a las necesidades de sus clientes tanto para enlaces de downstream como para upstream, que además se complementara con la realización de una simulación del diseño.

El proyecto es factible realizarlo ya que cuenta con la suficiente información, conocimientos y equipos necesarios para su análisis. Con esta información la empresa tendrá los elementos necesarios para garantizar lo ofrecido al cliente permitiendo disminuir discrepancias en función al servicio que presta.

#### ***1.4.2. Justificación aplicativa***

El desarrollo del trabajo se empezará con la recolección de información y adquisición de conocimientos teóricos y prácticos de los distintos elementos que emplean en el despliegue de la red de fibra óptica en la empresa RIO RED para brindar servicios de internet. Este proceso permitirá adquirir conocimientos de: atenuaciones en el enlace, reflexiones, amplificadores y medios de transmisión que facilitará el desarrollo del proyecto.

Se realizará el estudio y reconocimiento de los equipos que se utilizaran, haciendo énfasis en la OLT ZTE C320 propuesta en este trabajo. Se conoce que una red óptica con tecnología GPON consiste principalmente en una OLT situada en una URA (Unidad Remota de Abonado) o Central Office interconectada a una ONT a través de una red pasiva como ODN, en el camino las señales de la fibra son “distribuidas” a través de la utilización de splitters. Para ello se llevará a cabo el estudio de los principios teóricos y técnicos de las de acceso óptico con tecnología GPON. Luego se realizará la planificación y el dimensionamiento de acuerdo con la proyección de usuarios actuales y futuros.

Posteriormente utilizar un software de simulación para verificar los parámetros adecuados para el proyecto de diseño haciendo énfasis en el análisis del BER. Finalmente se presenta la propuesta de diseño tomando en consideración criterios técnicos como: la arquitectura, topología y ubicación de la OLT.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

Analizar y diseñar una red óptica mediante la OLT ZTE ZXA10 C320 para la empresa RIO RED en la parroquia Lizarzaburu de la ciudad de Riobamba.

### ***1.5.2. Objetivo específicos***

- ✓ Investigar la tecnología GPON para determinar su arquitectura y funcionamiento al proveer servicios de internet.
- ✓ Realizar el estudio de la demanda existente que permita determinar la necesidad de utilizar tecnología GPON en la parroquia Lizarzaburu de la ciudad de Riobamba.
- ✓ Diseñar una red óptica con tecnología GPON en base a los parámetros de demanda, usuarios, ubicación geográfica e infraestructura para ofrecer servicio de internet a la parroquia Lizarzaburo de la ciudad de Riobamba.
- ✓ Simular la red óptica con tecnología GPON mediante el software Optisystem.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Historia de la fibra óptica

En la década de 1950, se desarrollaron las primeras fibras ópticas utilizando vidrio, pero tenían muchas limitaciones en términos de pérdida de señal y calidad de transmisión. Diez años después, Theodore Maiman inventó el láser, una tecnología crucial para la fibra óptica, ya que proporcionaba una fuente de luz coherente y potente para su funcionamiento. En la misma década, investigadores como Charles Kao y George Hockham propusieron el uso de fibras ópticas de vidrio dopado con germanio, lo que redujo significativamente la atenuación de la señal y permitió la transmisión de datos a largas distancias.

En la década de 1970, Corning Glass Works desarrolló la primera fibra óptica de sílice ultrapura, que revolucionó las comunicaciones al permitir velocidades de transmisión más altas y distancias más largas sin pérdida de señal. A partir de la 1980, se da el despliegue en redes de comunicación, utilizándose a gran escala y reemplazando gradualmente a los cables de cobre debido a su mayor ancho de banda y menor susceptibilidad a interferencias electromagnéticas.

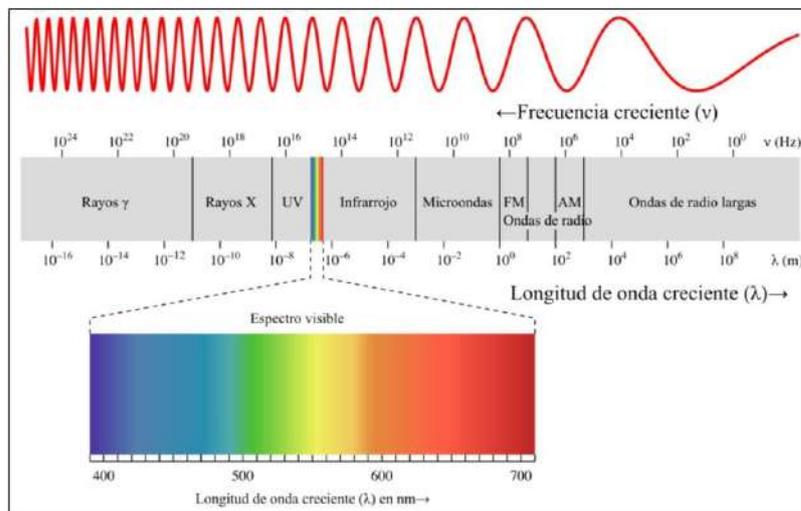
Desde entonces, ha habido numerosos avances en la tecnología de transmisión de fibra óptica, incluyendo el desarrollo de amplificadores ópticos, multiplexación por división de longitud de onda (WDM), y sistemas de fibra óptica submarina, que han permitido velocidades de transmisión de datos cada vez más altas y una mayor capacidad de red (Chan, 2020, p. 30).

Estas redes ofrecen ventajas como mayor ancho de banda, menor atenuación e interferencia electromagnética en comparación con las redes tradicionales basadas en cobre. Este conjunto único de características hace que las redes ópticas sean esenciales en la infraestructura de las comunicaciones modernas, tanto para aplicaciones comerciales como residenciales, además su capacidad de transmitir volúmenes de datos de manera rápida y confiable hace que las redes ópticas sean fundamentales para el soporte de servicios como Internet de alta velocidad, transmisión de video de alta definición, telefonía IP y aplicaciones empresariales que demandan una conectividad robusta y de alto rendimiento (Ramírez, Manuel; Huaita, Asencio, 2022, pp. 175-180).

## 2.2. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético se refiere al rango de radiación electromagnética, que incluye todas las formas de ondas electromagnéticas, desde la corriente continua hasta la luz y los rayos gamma. Se puede dividir en diferentes regiones según la frecuencia o la longitud de onda, cada una con sus propias características (Ordóñez, 2022, pp. 17-25). Estas regiones incluyen las regiones de rayos gamma, rayos X, UV-Vis, IR, microondas y ondas de radio. La radiación electromagnética es una forma de energía liberada y absorbida por partículas cargadas, y tiene propiedades eléctricas y magnéticas específicas (Reza & Sindhuja, 2014, pp. 1-5).

La interacción del espectro electromagnético con la materia se puede utilizar para analizar diversas propiedades físicas y químicas de los objetos en la alimentación y la agricultura. El espectro se puede observar como una banda de colores, como un arcoíris, cuando la luz blanca es dispersada por un prisma. Las ondas electromagnéticas consisten en campos eléctricos y magnéticos oscilantes, y los científicos estudian cómo los diferentes tipos de radiación electromagnética interactúan con las partículas y los átomos para obtener información sobre su estructura y enlaces químicos (Lin, et al., 2022, p. 508).



**Ilustración 2-1:** Espectro Electromagnético

Fuente: (Lin, et al., 2022)

## 2.3. Sistema óptico de comunicaciones

Es un sistema electrónico de comunicaciones que usa la luz como portador de información, sin embargo, es difícil e impráctico propagar ondas luminosas por la atmosfera terrestre. En consecuencia, los sistemas de comunicaciones con fibra óptica usan fibras de vidrio o de plástico

para “contener” las ondas luminosas y guiarlas en una forma similar a como las ondas electromagnéticas son guiadas en una guía de ondas (Tomasi, 2003, pp. 422-430).

### **2.3.1. Fibra óptica**

Fibra óptica es un filamento muy fino de plástico o vidrio mediante el que la luz puede propagarse por sucesivas reflexiones en su interior. Puede ser estudiada fácilmente si se la considera como un “tubo transparente circular” en el cual los rayos de luz que entran por una punta pueden ser conducidos o guiados por el interior de esta hasta su extremo opuesto. Las fibras son capaces de transportar señales ópticas y energía luminosa, y constituyen el equivalente óptico de un “par conductor” o un cable coaxial (Grazzini, 2020, pp. 20-30).

### **2.3.2. Estructura de una fibra óptica**

Una fibra óptica es una estructura cilíndrica conformada por tres regiones concéntricas como muestra la ilustración 2-2, cada una con distintas propiedades:

#### **2.3.2.1. Núcleo**

Denominado “*core*”, generalmente está fabricado con materiales como la sílice, cuarzo fundido o plástico. Su función es permitir la propagación de la luz de manera controlada, su diámetro dependerá si es monomodo o multimodo, mientras mayor sea el diámetro del núcleo, mayor será la cantidad de luz que puede transportar. Una fibra monomodo el núcleo tiene 2 a 10  $\mu\text{m}$  de diámetro, mientras que una fibra multimodo el núcleo tiene 50 a 62.5  $\mu\text{m}$  de diámetro (Alban, 2006, p. 195).

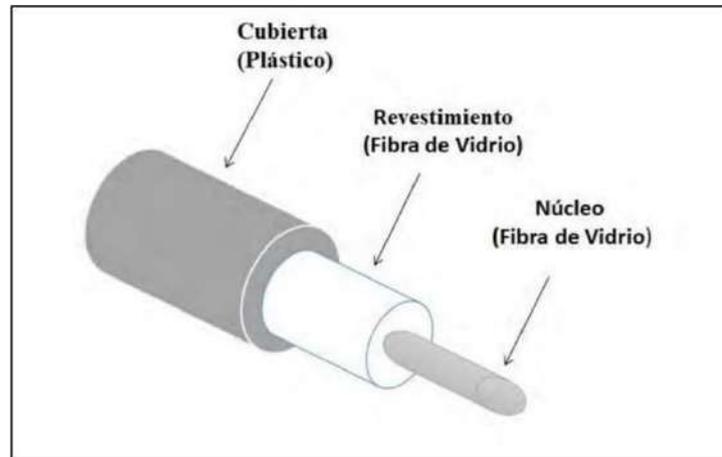
#### **2.3.2.2. Revestimiento**

Denominado “*manto o cladding*”, generalmente está fabricado con dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Su función es actuar como un aislante para causar la reflexión de la luz hacia el núcleo, además actúa como capa reflectora permitiendo que las ondas de luz sean retenidas y así disminuir las pérdidas por dispersión. Generalmente los tamaños usados son de 125 a 140  $\mu\text{m}$  (Alban, 2006, p. 195).

#### **2.3.2.3. Recubrimiento**

Denominado “*coating*”, está fabricado con plástico, y son aplicadas al exterior del revestimiento y protege a las dos capas anteriores contra humedad, polvo y trabajo mecánico. Para fibras de

estructura ajustada poseen otra capa de recubrimiento externa denominada capa secundaria conocida generalmente como buffered fibers. Su diámetro puede estar entre  $250\mu m$  y  $900\mu m$  (Alban, 2006, p. 195).



**Ilustración 2-2:** Estructura de una fibra óptica

Fuente: Yam, Alfredo (Yam, 2018)

### 2.3.3. Tipos de fibra óptica

Existen varias clasificaciones de FO entre ellas se tiene; De acuerdo con número de modos de propagación, hay dos grandes tipos de fibra óptica:

#### 2.3.3.1. Monomodo

En este tipo de fibra (SMF), tiene un diámetro de 8 a  $10\mu m$  de diámetro del núcleo, donde solo se permite la propagación de un único modo de luz. Esto significa que los rayos de luz viajan en línea recta a través del núcleo de la fibra, lo que resulta en una menor dispersión de la señal y una menor atenuación. Las fibras monomodo se utilizan en aplicaciones de larga distancia y alta capacidad, como en redes de área extensa (WAN) y sistemas de comunicación de larga distancia (Cando & Guamán, 2020, p. 50).

#### 2.3.3.2. Multimodo

Este tipo de fibra multimodo (MMF), tiene dos diámetros del núcleo de  $62.5\mu m$  y  $50\mu m$ , aquí se permiten múltiples modos de luz para propagarse a través del núcleo de la fibra. Esto significa que los rayos de luz pueden seguir diferentes trayectorias dentro del núcleo, lo que resulta en una dispersión de la señal y una atenuación mayor en comparación con las fibras monomodo. Las

fibras multimodo se utilizan típicamente en aplicaciones de corta distancia, como redes locales (LAN) y enlaces de fibra óptica en edificios (Cando & Guamán, 2020, p. 55).

Por tipo de material del núcleo y el revestimiento:

#### 2.3.3.3. *Fibra de sílice:*

La mayoría de las fibras ópticas están hechas de vidrio de sílice dopado con Tulio debido a su alto índice de refracción y su capacidad para transmitir la luz de manera eficiente (Franco, et al., 2020, pp. 1-14).

#### 2.3.3.4. *Fibra de plástico*

Aunque menos común que la fibra de sílice, la fibra óptica de plástico se utiliza en algunas aplicaciones específicas debido a su flexibilidad y menor costo. Sin embargo, tiene una mayor atenuación y es menos adecuada para aplicaciones de larga distancia ya que aumenta exponencialmente (Rodríguez, 2021, pp. 152-161).

### **2.4. Red óptica pasiva (PON)**

La red óptica pasiva (PON) utiliza tecnología de fibra óptica para entregar datos de una única fuente a múltiples puntos de conexión. El término "Pasiva" en este contexto se refiere al uso de cables ópticos conectados a un divisor sin potencia, que a su vez transmite datos de una red de proveedor de servicios a múltiples clientes. Estrictamente solo el divisor es pasivo, ya que la red siempre necesita de energía eléctrica tanto del extremo fuente como del extremo sumidero para funcionar (Mosquera, 2022, pp. 30-45).

Hay redes ópticas pasivas y activas una de las principales diferencias son la cantidad de fibras requeridas por usuario y los componentes divisores utilizados en la arquitectura PON. Las redes ópticas activas (AON) utilizan conmutadores de agregación o enrutadores alimentados (o "activos") para distribuir datos de los proveedores de servicios a los clientes, y cada servicio al cliente requiere un conmutador o puerto de enrutador dedicado y fibra. Mientras que PON utiliza un enrutador o conmutador y una única fibra y un divisor pasivo entre los dos para atender a múltiples usuarios, compartiendo capacidad de longitud de onda (Leime & Romero, s.f., p. 15).

PON utiliza menos puertos de enrutador y conexiones de fibra óptica para atender a los usuarios que AON. La arquitectura PON minimiza los posibles puntos de falla, lo que la hace ideal para

operadores de servicios que necesitan brindar conectividad rápida y confiable a hogares, hospitales, hoteles, complejos turísticos, campus y otras ubicaciones de usuarios (Martínez, 2021, pp. 20-48).

### 2.4.1. Elementos de Red PON

#### 2.4.1.1. Red de alimentación

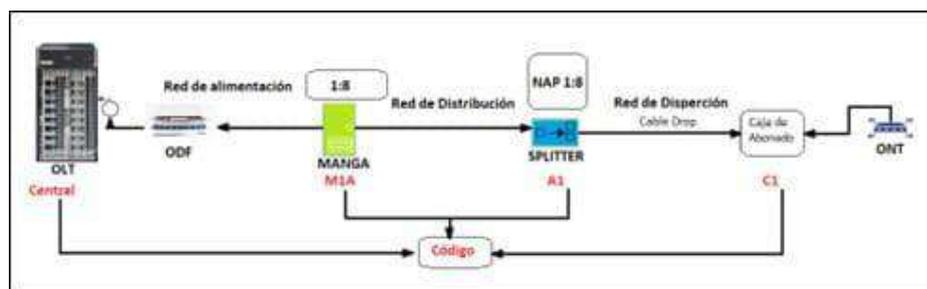
Se encuentra en la central de distribución, es el centro de gestión de los servicios a brindar por parte del distribuidor, aquí se ubican los equipos activos como el OLT y otros.

#### 2.4.1.2. Red de distribución

Es la unidad pasiva de la red PON constituida por splitters, cable de fibra óptica y otros elementos necesarios para proteger la red, establece la comunicación entre la OLT y el usuario.

#### 2.4.1.3. Red de Dispersión

Es la conexión con los usuarios, para ello se necesita de los componentes pasivos y una unidad de red óptica o una terminal de red óptica que son colocados en el hogar del usuario (Palta & Quintuña, 2022, p. 25).



**Ilustración 2-3:** Red Pon

Fuente: (Lin, et al., 2022)

### 2.4.2. Tipos de redes pon

#### 2.4.2.1. Apon

APON, es un estándar de transmisión de datos por fibra óptica, se utiliza para brindar acceso a Internet de alta velocidad a ubicaciones residenciales y comerciales. Emplea tecnología ATM

para transportar datos, voz y video de manera efectiva. La red APON se compone de dos componentes esenciales: el terminal de línea óptica (OLT) y el terminal de red óptica (ONU). La OLT, situada a la vanguardia de la red, facilita el servicio de Internet a las ONU (Ha, et al., 2021, p. 450).

En el lado del cliente, la ONU es responsable de conectarse a los dispositivos del usuario final, como computadoras, televisores o teléfonos. Al utilizar divisores ópticos pasivos, APON puede dividir la señal OLT entre múltiples ONU, lo que da como resultado una red rentable y fácilmente manejable. Con velocidades de bajada de hasta 622 Mbps y velocidades de subida de 155 Mbps, APON ofrece un rendimiento excepcional. Esta tecnología confiable y bien establecida ha sido ampliamente adoptada por proveedores de servicios en todo el mundo (Ha, et al., 2021, p. 452).

#### 2.4.2.2. *Bpon*

Con la introducción del estándar APON, las redes ópticas pasivas experimentaron una transformación significativa destinada a mejorar y diversificar la gama de servicios disponibles, esto llevó al surgimiento de la tecnología BPON, que no sólo facilitó la provisión de servicios Ethernet, VPL y distribución de video, sino que también introdujo una tecnología de gran relevancia conocida como Wavelength Multiplexing, ahora denominada WDM. BPON, o PON de banda ancha, se incluye en las especificaciones ITU-T 983 y sus diversas iteraciones (Ha, et al., 2021, p. 452), lo que permite la transmisión de servicios tanto de forma asimétrica como simétrica.

En arquitecturas asimétricas, el tráfico puede alcanzar velocidades de 155 Mbps de subida y 622 Mbps de bajada, mientras que las arquitecturas simétricas logran una transferencia equilibrada de 622 Mbit/s tanto para el tráfico ascendente como descendente.

#### 2.4.2.3. *Epon*

Es un estándar xPON alternativo que utiliza la misma tecnología Ethernet que la red local. Ofrece velocidades de hasta 1 Gbps en la dirección de bajada y 100 Mbps en la dirección de subida (Ha, et al., 2021, p. 448).

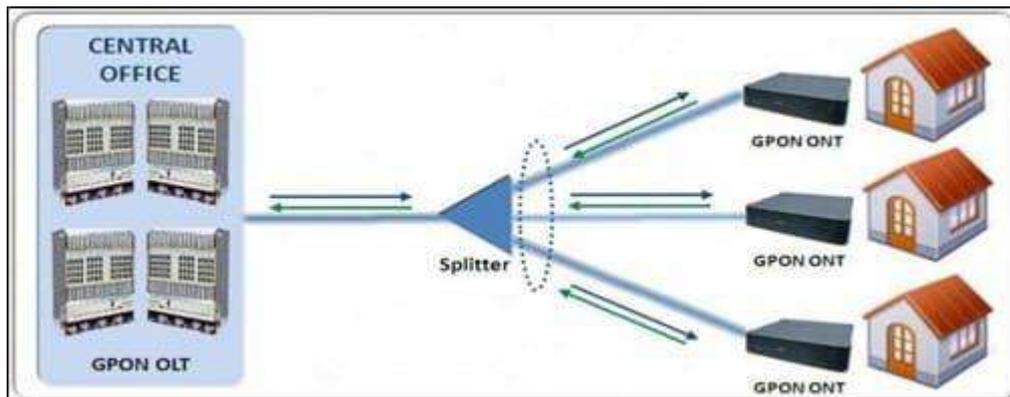
#### 2.4.2.4. *Gpon*

Es el estándar xPON más antiguo y común. Ofrece velocidades de hasta 2,5 Gbps en la dirección de bajada y 1,25 Gbps en la dirección de subida.

### 2.4.3. Tecnología GPON

GPON, acrónimo de Gigabit-capable Passive Optical Network, es una tecnología de acceso a Internet de alta velocidad que utiliza fibra óptica para conectar a los hogares y empresas a la red, es una tecnología de transmisión asimétrica, lo que significa que la velocidad de transmisión en la dirección de bajada (downstream) es mayor que la velocidad de transmisión en la dirección de subida (upstream). La velocidad de transmisión de GPON es de hasta 2,488 Gbps en la dirección de bajada y 1,244 Gbps en la dirección de subida (Agila, 2019, p. 17).

La topología más utilizada en las redes GPON es de tipo árbol, en la que un dispositivo central, llamado OLT (Optical Line Terminal), se conecta a múltiples dispositivos terminales, llamados ONU (Optical Network Unit), a través de divisores ópticos pasivos (splitters). Las longitudes de onda utilizadas en GPON son de 1490 nm en la dirección de bajada y 1310 nm en la dirección de subida. GPON está especificada en el estándar ITU-T G.984.x de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (Noboa, et al., 2011, pp. 1-7).



**Ilustración 2-4:** Topología GPON

Fuente: (De luz, 2023).

#### 2.4.3.1. Componentes de una red óptica

En una red óptica, la infraestructura está compuesta de varios elementos, siendo la línea óptica terminal (OLT) uno de los componentes centrales. La OLT gestiona el flujo de datos en la red, conectando la fibra óptica con los dispositivos finales, representados por las terminales de red óptica (ONT) en los extremos de los usuarios, también está compuesta por otros elementos que operan en conjunto facilitando la transmisión eficiente y confiable de datos a través de fibras ópticas (Bianchi, et al., 2022, pp. 527-530), estos elementos son:

- **Fibras ópticas** Conocidos como cables de fibra óptica, son el medio de transmisión esencial en una red óptica, son de vidrio o plástico y contienen filamentos de vidrio o plástico que se usan para transportar la luz.



**Ilustración 2-5:** Fibra óptica

Fuente: (Keyfibre, 2023)

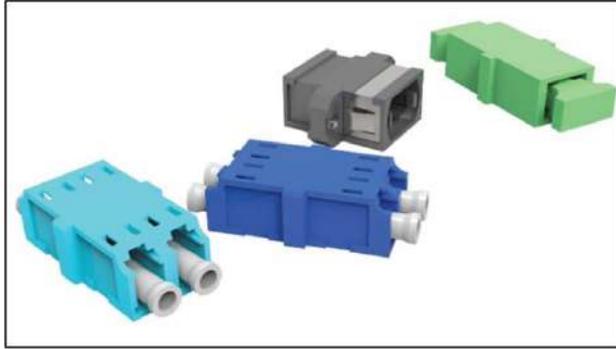
- **OLT:** es un componente Activo, crucial en una red óptica, ya que funciona como el punto de conexión entre la red de fibra óptica y los equipos de usuario. La OLT ZTE ZX10 C320 es una unidad de línea óptica que desempeña un papel central en el acceso de banda ancha y la distribución de servicios
- **ONT:** son dispositivos Activos, ubicados en el extremo del usuario que se conectan a la OLT para recibir los servicios de la red óptica, estos pueden incluir servicios de voz, datos y video.
- **Splitters Ópticos:** Son dispositivos que dividen la señal óptica en múltiples vías, permitiendo que una sola fibra óptica sirva a múltiples usuarios o dispositivos.



**Ilustración 2-6:** Splitters Ópticos

Fuente: (Furukawa, 2018)

- **Conectores y Acopladores:** Se utilizan para unir y conectar las fibras ópticas, asegurando una transmisión eficiente de la luz y por ende una excelente transmisión de datos.



**Ilustración 2-7:** Adaptadores ópticos

Fuente: (Furukawa, 2018)

- **Amplificadores Ópticos.** Compensan la pérdida de señal a medida que la luz viaja a lo largo de la fibra óptica, permitiendo la transmisión a largas distancias sin pérdida significativa de la señal.



**Ilustración 2-8:** Amplificador Óptico

Fuente: (Oñate, 2014)

- **Divisores de Potencia:** Es un dispositivo Pasivo que permiten que cada usuario reciba una señal adecuada al distribuir la señal de manera uniforme en varias fibras.



**Ilustración 2-9:** Divisor de Potencia

Fuente: (Furukawa, 2018)

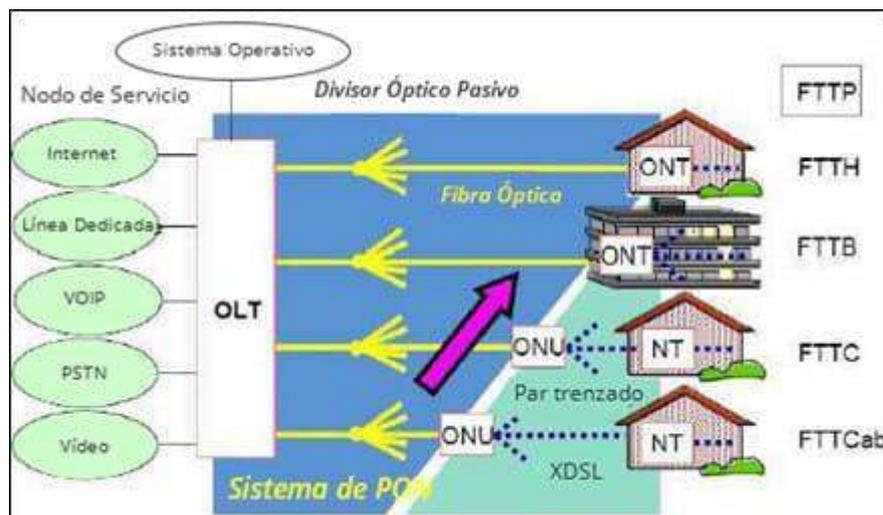
- **Filtros Ópticos:** Se utilizan para filtrar y direccionar concretamente ciertas longitudes de onda de luz, proporcionando la multiplexación y demultiplexación de señales en redes de longitud de onda divisora con mayor facilidad, es considerado un dispositivo Pasivo.
- **Terminales de Fibra Óptica:** También son dispositivos Pasivos que Facilitan la distribución y conexión con otros puntos de la red al proporcionar otros puntos de conexión para las fibras ópticas.
- **Cajas de Empalme:** Protegen y organizan las conexiones de fibra óptica, garantizando la integridad de la infraestructura.



**Ilustración 2-10:** Caja de Empalme

Fuente: (Globaltecnoly, 14)

La distancia de transferencia de datos máxima admitida a través de la ODN es de 20 km. OLT controla ambos sentidos de la transmisión de información: sentido ascendente y descendente obteniendo una distribución del tráfico de datos de los consumidores y consiguiendo un comercio de datos, voz y vídeo desde una red una red de larga distancia y enviando todos los módulos ONT en el ODN (Comunidad FS, 2018).



**Ilustración 2-11:** OLT en una red óptica

Fuente: (Comunidad FS, 2018)

## **2.5. Redes FTTX**

FTTX es un término que engloba varias tecnologías de acceso de banda ancha, donde "FTTx" significa "Fiber to the X", donde "X" puede referirse a varios puntos de conexión, como el hogar (FTTH), el edificio (FTTB), el nodo (FTTN), entre otros. La tecnología FTTX implica la implementación de redes de fibra óptica que llevan el servicio de Internet de alta velocidad y otros servicios de comunicación hasta el usuario final. Esto proporciona una mayor capacidad de ancho de banda y velocidades de conexión más rápidas en comparación con las tecnologías tradicionales basadas en cobre (Ramos, 2019, p. 25).

### **2.5.1. FTTH (*Fiber to the Home*)**

Esta es la forma más directa de FTTX, donde la fibra óptica se extiende directamente hasta la casa del suscriptor. Proporciona la conexión de mayor ancho de banda y es ideal para aplicaciones que requieren altas velocidades de carga y descarga (Ramos, 2019, p. 32).

### **2.5.2. FTTB (*Fiber to the Building*)**

En este caso, la fibra se extiende hasta un edificio o complejo de edificios, y luego se distribuye a través de medios tradicionales (como cobre o coaxial) dentro del edificio hasta los usuarios individuales. Es común en apartamentos y complejos de oficinas (Ramos, 2019, p. 33).

### **2.5.3. FTTC (*Fiber to the Curb/Cabinet*)**

Aquí, la fibra óptica se extiende hasta un punto cercano a los hogares, como una caja de distribución (cabinet) o un armario en la calle. Luego, la conexión final al hogar se realiza a través de cables de cobre existentes. Proporciona un mayor ancho de banda que las tecnologías DSL tradicionales (Ramos, 2019, p. 38).

### **2.5.4. FTTN (*Fiber to the Node*)**

Similar al FTTC, la fibra se extiende hasta un nodo de acceso que sirve a un área local, y luego la conexión al hogar se realiza a través de cables de cobre existentes. Es una solución intermedia que ofrece mejoras en el rendimiento en comparación con DSL pero no alcanza las velocidades y la capacidad de ancho de banda de FTTH (Ramos, 2019, p. 38).

### **2.5.5. FTThp (Fiber to the Distribution Point)**

En esta variante, la fibra se extiende hasta un punto de distribución más cercano al hogar que en FTTC. Luego, la conexión final se realiza a través de un cable de cobre corto desde el punto de distribución hasta la residencia. Ofrece mayores velocidades y ancho de banda que FTTC (Ramos, 2019, p. 38).

## **2.6. Normas de fibra óptica**

Existen varias normas y entre ellas distintas aplicaciones como las siguientes:

### **2.6.1. Normas de la ITU-T:**

#### **2.6.1.1. G.984.x (GPON)**

Define las especificaciones para las redes de fibra óptica pasiva (PON) utilizadas comúnmente en las implementaciones FTTH.

#### **2.6.1.2. G.987.x (XG-PON)**

Estándares para sistemas PON de próxima generación que proporcionan mayores velocidades de transmisión.

#### **2.6.1.3. G.988 (OMCI)**

Define el protocolo de interfaz de gestión entre el equipo de usuario y el equipo de red en las redes PON.

#### **2.6.1.4. G.652 (ITU-T)**

Especifica las características de la fibra óptica monomodo utilizada en las redes de telecomunicaciones (Chan, 2020, p. 15).

### **2.6.2. Normas del IEEE:**

#### **2.6.2.1. 802.3 (Ethernet)**

Define estándares para la implementación de Ethernet sobre fibra óptica, que se utiliza comúnmente en redes FTTH.

#### *2.6.2.2. 802.3ah (EPON)*

Estándar para redes Ethernet pasivas ópticas (EPON), una variante de PON utilizada en implementaciones FTTH (Fandiño & Sierra, 2022, p. 1).

#### *2.6.3. Normas de la FTTH Council:*

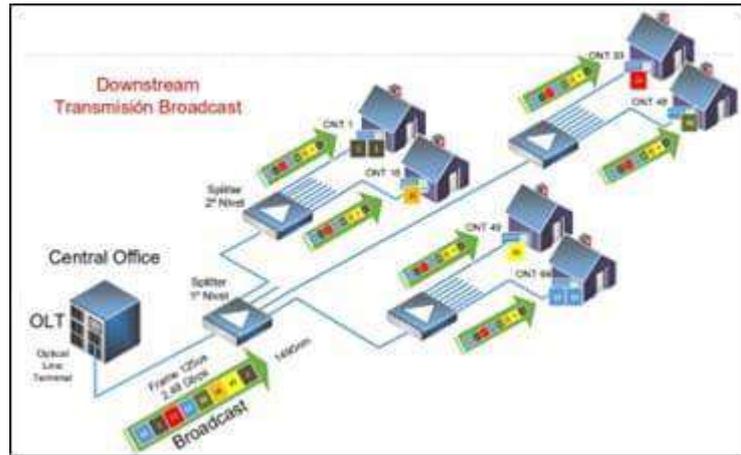
Proporciona recomendaciones y buenas prácticas para la implementación de redes FTTH, incluyendo diseño de redes, instalación, mantenimiento y seguridad (Peñaloza & Inga, 2014, p. 22).

### **2.7. Arquitectura de transmisión**

La transmisión de datos en redes GPON se basa en la tecnología WDM, que permite multiplexar la información de múltiples usuarios en un solo canal de fibra óptica. En la dirección de bajada (downstream), los paquetes se transmiten a través de broadcast, lo que significa que todos los usuarios reciben la misma información. En la dirección de subida (upstream), los paquetes se transmiten utilizando un acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). Esto significa que cada usuario tiene asignado un intervalo de tiempo específico para transmitir sus datos (Lacnic, 2020, pp. 1-5).

#### *2.7.1. Downstream*

En la dirección de bajada, la OLT multiplexa las tramas GEM en el medio de transmisión empleando un Port-ID como identificador. El tráfico de bajada se transmite en forma de broadcast, es decir, que todos los usuarios reciben la misma información. Sin embargo, cada ONU solo descifra la información que le corresponde, para ello, cada ONU utiliza el algoritmo de cifrado AES. En este proyecto de tesis, se utilizará una longitud de onda de 1490 nm para el canal de bajada (Avaninathan & Maheswaravenkatesh, 2017, p. 2505).



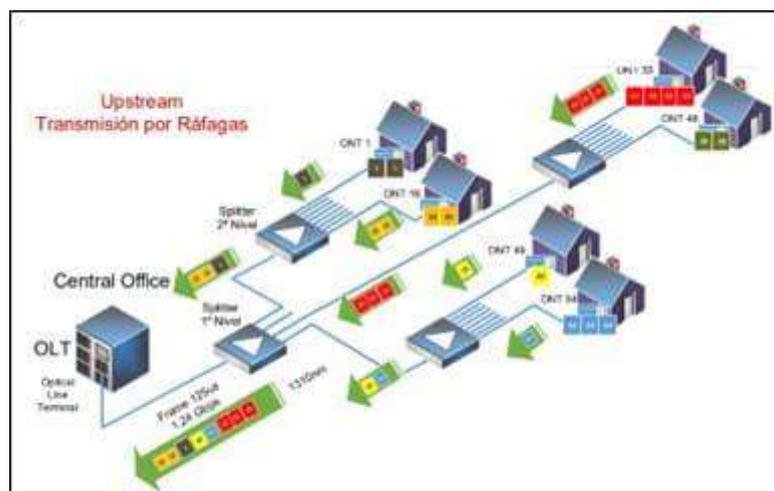
**Ilustración 2-12:** Transmisión de datos en downstream

**Fuente:** (López, 2015).

### 2.7.2. *Upstream*

En la dirección ascendente, la OLT gestiona el ancho de banda de las ONTs mediante dos mecanismos: Mapa de ancho de banda: la OLT envía un mapa de ancho de banda a las ONTs en la dirección descendente. Este mapa identifica las tramas de tráfico por su Alloc-ID y asigna slots temporales a cada ONT y TDMA: las ONTs transmiten sus datos en sus slots temporales asignados utilizando el protocolo TDMA. Este protocolo multiplexa las tramas en tiempo, lo que significa que solo una ONT puede transmitir a la vez.

El canal ascendente utiliza una longitud de onda de 1310 nm y funciona como una red punto a punto (P2P) (Lacnic, 2020, p. 7).



**Ilustración 2-13:** Transmisión de datos en Upstream

**Fuente:** (López, 2015).

## 2.8. Ber (bit error radio)

La evaluación de las tasas de error en los sistemas de comunicación se realiza utilizando una métrica de rendimiento conocida como tasa de error de bits BER, por sus siglas en inglés. Esta métrica cuantifica la cantidad de errores de bits que ocurren por unidad de tiempo o por cantidad de bits transmitidos. La importancia de BER se extiende a varios sistemas de comunicación inalámbrica, incluidas las redes de radio cognitivas (CRN), sistemas inteligentes reconfigurables de comunicación asistida por superficie (RIS) y los receptores ortogonales de tiempo-frecuencia espacial (OTFS) (Gupta & Joshi, 2023, p. 2).

Al analizar la BER, se puede obtener información sobre cómo factores como el ruido, las condiciones del canal, los esquemas de modulación y las técnicas de corrección de errores afectan el rendimiento del sistema, numerosos artículos proponen modelos y técnicas adaptados a escenarios de comunicación específicos, con el objetivo de mitigar errores y mejorar el rendimiento de BER (Mohandass & Reba, 2022, p. 165).

### 2.8.1. Pruebas de la tasa de error de bits

La medición de la tasa de error de bits en redes de fibra óptica, servicios Ethernet o cualquier otro sistema de transmisión de datos se puede lograr mediante la utilización de pruebas de tasa de error de bits (BERT). Esta prueba implica la transmisión de un flujo de datos predeterminado a través de una entrada de enlace de red, seguida del análisis de la salida en el extremo receptor, comparando el número de errores detectados con el número total de bits transmitidos dentro de un período de tiempo específico, se puede realizar una evaluación de la tasa de errores de bits (VIAVI Solutions Inc, 2019).

$$BER = \frac{\text{Número de bits erróneos}}{\text{Número total de bits transmitidos}} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Una BER baja, es un indicativo de una transmisión de datos de alta calidad, mientras que un valor alto significa que la transmisión de datos es de baja calidad. Para acelerar la identificación de errores y minimizar el tiempo dedicado a las pruebas de BER, se puede emplear una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) para generar una amplia gama de patrones de bits para la transmisión de datos. Sin embargo, es importante señalar que esta técnica que induce errores sólo es aplicable a líneas inactivas. Ya sea que esté evaluando la funcionalidad de su propia red o facilitando la activación del servicio para un cliente, utilizar BERT es un método confiable para garantizar la integridad de toda la red (VIAVI Solutions Inc, 2019).

## 2.8.2. Parámetros de transmisión

### 2.8.2.1. Factor Q

Los parámetros de transmisión por fibra óptica incluyen los parámetros de calidad (factor Q) de las señales ópticas, como los tipos OTU1 y OTU2, que se estudian mediante modelos de simulación y cálculos analíticos. El factor Q de la señal en el receptor depende de la potencia de la señal del transmisor y de la cantidad de secciones ópticas de trayectoria lineal. En la comunicación de larga distancia, el parámetro de atenuación tiene un efecto significativo en los valores del factor Q y BER en comparación con la dispersión cromática (Mazur, et al., s.f., p. 22).

**Tabla 2-1:** Características Factor Q

Parámetro	OTU1	OTU2
Velocidad de línea	2.488 Gbps	9.953 Gbps
Capacidad de carga útil	2.304 Gbps	9.766 Gbps
Longitud de onda operativa	1310 nm	1310 nm o 1550 nm
Estructura de trama	G.709/Y.1331	G.709/Y.1331
Aplicaciones	Redes de acceso metropolitano (MAN), enlaces punto a punto	Redes de acceso metropolitano (MAN), redes troncales metropolitanas (MTN), servicios de Ethernet de alta velocidad
Distancia máxima de transmisión	Depende del tipo de fibra y potencia del láser	Depende del tipo de fibra y potencia del láser, generalmente mayor que OTU1

Fuente: (RF And Wireless Terminologies, 2023).

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

### 2.8.2.2. DWDM

La multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) se utiliza para aumentar la capacidad de los enlaces de transmisión de fibra óptica mediante el uso de canales de longitud de onda específicos. Funciona transmitiendo múltiples señales ópticas (llamadas canales) a través de la misma fibra óptica, cada una usando una longitud de onda (color) diferente de la luz, similar a cómo la transmisión múltiple por división de frecuencia (FDM) se utiliza en las señales de radio para transmitir múltiples estaciones a través de una sola frecuencia (García & Palacios, 2013, p. 2).

**Tabla 2-2:** Tipos de DWM

<b>CWDM</b>	Coarse Wavelength-Division Multiplexing): Utiliza menos longitudes de onda (alrededor de 4 o 8) con mayor separación entre ellas. Adecuado para distancias más cortas y redes menos complejas.
<b>DWDM de banda C</b>	Utiliza longitudes de onda en el rango de 1530 nm a 1565 nm, ofreciendo un balance entre capacidad y costo.
<b>DWDM de banda L</b>	Utiliza longitudes de onda adicionales en el rango de 1565 nm a 1625 nm, aumentando la capacidad, pero con mayor costo.

**Fuente:** (García & Palacios, 2013).

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

### 2.8.2.3. *Atenuación:*

Es la pérdida de potencia óptica a lo largo de la fibra. Se expresa en decibelios por kilómetro (dB/km). La atenuación se debe a diversos factores, como la absorción, la dispersión y las imperfecciones de la fibra (Agredo, et al., 2012, p. 23).

### 2.8.2.4. *Dispersión:*

Es el ensanchamiento del pulso de luz a medida que viaja por la fibra. Se expresa en picosegundos por kilómetro (ps/km). La dispersión se debe a dos tipos principales:

- **Dispersión cromática:** Se produce por la dependencia del índice de refracción de la fibra con la longitud de onda.
- **Dispersión modal:** Se produce por la existencia de diferentes modos de propagación en la fibra (Agredo, et al., 2012, p. 24).

### 2.8.2.5. *Ancho de banda:*

Es el rango de frecuencias que una fibra óptica puede transmitir sin distorsión significativa. Se expresa en gigahercios por kilómetro (GHz/km). El ancho de banda depende del tipo de fibra y de la longitud de onda de la luz (Agredo, et al., 2012, p. 24).

### 2.8.2.6. *Pérdida de retorno:*

La pérdida de retorno (RL) se genera cuando la luz encuentra una discontinuidad en la fibra óptica, como un empalme, un conector o un cambio en el índice de refracción. Esta discontinuidad provoca que una parte de la luz se refleje de vuelta hacia el transmisor, en lugar de continuar

propagándose por la fibra. Se expresa en decibelios (dB). La pérdida de retorno puede causar interferencias en la señal (Agredo, et al., 2012, p. 24).

La pérdida de retorno se mide en decibelios (dB) y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$RL (dB) = 10Log_{10} \frac{\text{Potencia reflejada}}{\text{Potencia incidente}} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Un valor alto de pérdida de retorno (en dB) indica que una cantidad significativa de luz se está reflejando, lo que puede afectar negativamente la transmisión de la señal (Agredo, et al., 2012, p. 25).

#### 2.8.2.7. Relación señal-ruido (SNR):

La relación señal-ruido (SNR) es una medida fundamental en las telecomunicaciones que indica la calidad de una señal en comparación con el ruido de fondo presente en el sistema. Se define como la razón entre la potencia de la señal deseada y la potencia del ruido no deseado. Se expresa en decibelios (dB). La SNR es una medida de la calidad de la señal (Agredo, et al., 2012, p. 25).

La SNR es importante porque determina la calidad y confiabilidad de la información transmitida en un sistema de telecomunicaciones. Una alta SNR indica que la señal es fuerte y clara, mientras que una baja SNR indica que la señal es débil y está contaminada por ruido, lo que puede afectar la inteligibilidad y la precisión de la información (Bröcker, et al., 2023, p. 912), se calcula mediante:

$$SNR = 10Log_{10} \frac{\text{Potencia de la señal}}{\text{Potencia del ruido}} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

El resultado se expresa en decibelios (dB). Un valor de SNR de 0 dB indica que la potencia de la señal es igual a la potencia del ruido. Un valor positivo de SNR indica que la potencia de la señal es mayor que la potencia del ruido, mientras que un valor negativo indica que la potencia del ruido es mayor que la potencia de la señal (Bröcker, et al., 2023, p. 912).

#### 2.8.2.8. Diafonía:

Es la interferencia entre dos o más señales que se transmiten por la misma fibra. Se expresa en decibelios (dB). La diafonía puede causar errores en la recepción de la señal (Agredo, et al., 2012, p. 30).

#### 2.8.2.9. *Polarización:*

Es la orientación del campo eléctrico de la luz en la fibra. La polarización puede afectar la atenuación y la dispersión de la señal (Agredo, et al., 2012, p. 32).

#### 2.8.2.10. *Longitud de onda:*

Es la distancia entre dos picos consecutivos de la onda de luz. La longitud de onda afecta la atenuación, la dispersión y el ancho de banda de la fibra (Agredo, et al., 2012, p. 32).

#### 2.8.2.11. *Índice de refracción:*

Es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en la fibra. El índice de refracción determina la dispersión cromática de la fibra (Agredo, et al., 2012, p. 32).

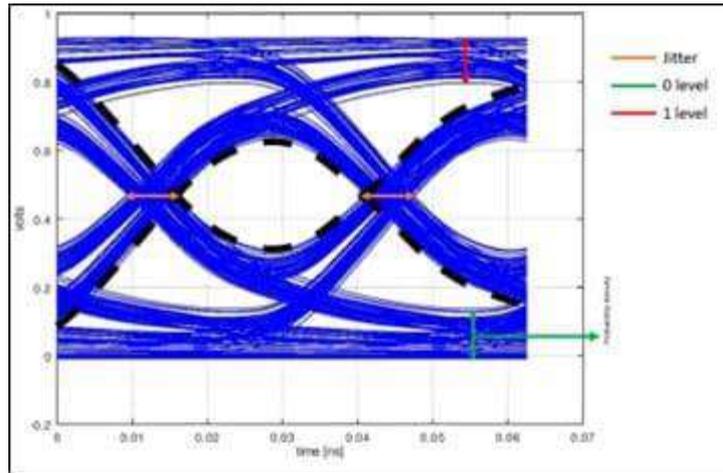
#### 2.8.2.12. *Apertura numérica (NA):*

Es una medida de la capacidad de la fibra para aceptar luz. La NA determina el ángulo de aceptación de la fibra (Agredo, et al., 2012, p. 33).

### **2.9. Diagrama de ojo**

Un diagrama de ojo o diagrama ocular es una herramienta útil para evaluar la calidad de un canal de alta velocidad. Proporciona información sobre varios parámetros del dominio temporal, como el período, la fluctuación temporal, el valor Q y la tasa de errores de bits (BER) de las señales ópticas sometidas a prueba. Los diagramas oculares se obtienen cuantificando las señales eléctricas detectadas a partir de las señales ópticas muestreadas y utilizando un algoritmo basado en el cálculo infinitesimal (Fan, et al., 2023, p. 1363)

Los diagramas oculares también se pueden utilizar para visualizar los factores de calidad de las señales eléctricas en placas de circuitos impresos, con la forma de onda de cada bit representada por un gráfico que tiene un eje vertical que representa la amplitud de la señal y un eje horizontal que representa el tiempo. Además, el reconocimiento de los diagramas oculares se puede mejorar mediante técnicas de aprendizaje automático, como las redes neuronales convolucionales, que pueden identificar con precisión las deficiencias de la señal e incluso localizar sus posiciones (Rotaru, et al., 2022, p. 212).



**Ilustración 2-14:** Diagrama de ojo

**Fuente:** (Peterson , 2022)

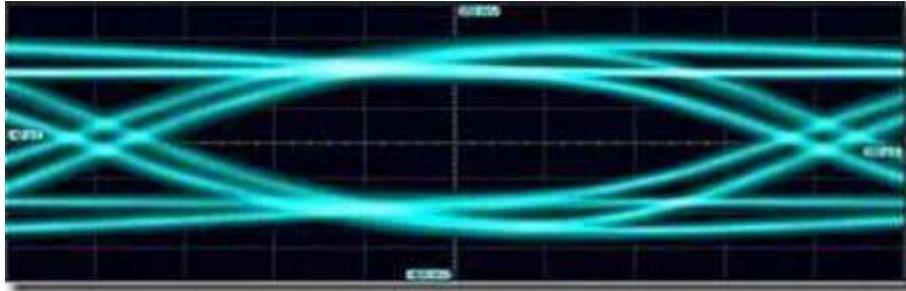
Un diagrama de ojo se crea superponiendo múltiples trazas de la señal digital, sincronizadas en base a la frecuencia de reloj del sistema. Cada traza representa un símbolo individual de la señal. La superposición de las trazas crea un patrón que asemeja un "ojo", con diferentes regiones que indican características específicas de la señal (Peterson , 2022).

- Niveles de voltaje: La altura del ojo indica la amplitud de la señal y la separación entre los niveles de voltaje "alto" y "bajo".
- Tiempo de subida y bajada: La pendiente de las transiciones entre los niveles de voltaje indica la velocidad a la que la señal cambia de un estado a otro.
- Sincronización: La superposición de las trazas indica la precisión de la sincronización de la señal.
- Distorsión: La distorsión de la forma del ojo indica la presencia de interferencias o ruido en la señal.

Un diagrama de ojo puede proporcionar información sobre diversos aspectos de la señal digital:

- Calidad de la señal: Un ojo abierto, con niveles de voltaje bien definidos y transiciones nítidas, indica una señal de alta calidad. Un ojo cerrado o con distorsiones indica una señal de baja calidad.
- Margen de ruido: La altura del ojo y la separación entre los niveles de voltaje indican la cantidad de ruido que la señal puede tolerar sin afectar su calidad.
- Margen de sincronización: La superposición de las trazas indica la tolerancia a la fluctuación del reloj del sistema.
- Distorsión inter simbólica (ISI): La distorsión de la forma del ojo puede indicar la presencia de ISI, que ocurre cuando la interferencia de símbolos adyacentes afecta la calidad de la señal (Peterson , 2022).

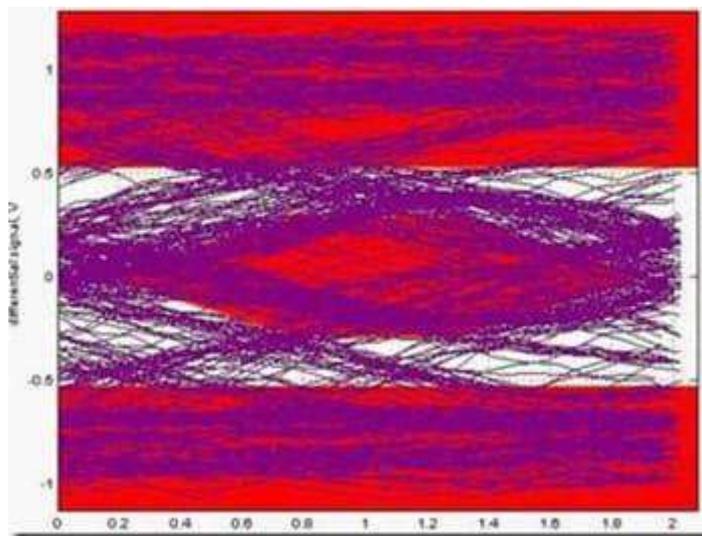
La siguiente ilustración muestra un diagrama de doble párpado, que puede indicar que la señal puede cruzarse, o en casos más graves perderse por completo.



**Ilustración 2-15:** Doble párpado

Fuente: (Tansceivers, 2020)

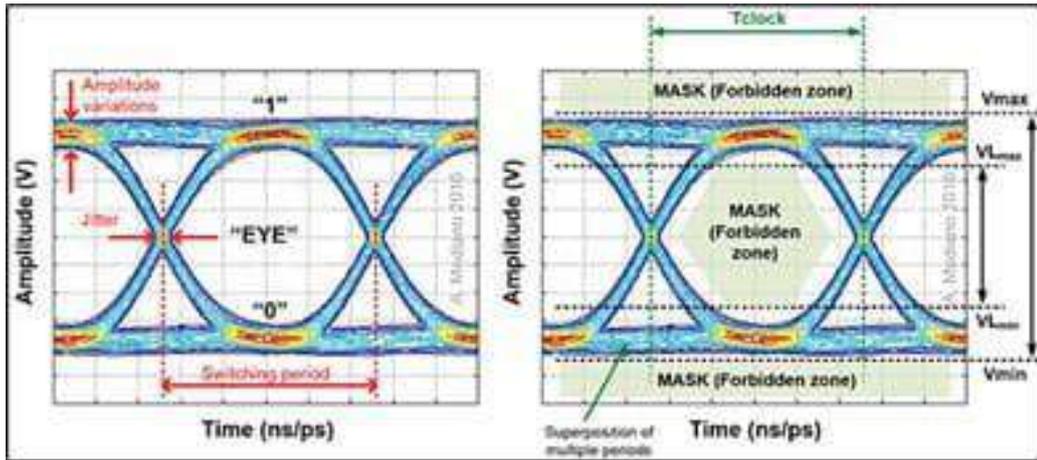
Este diagrama denominado ojos inyectados en sangre, es el indicativo que la señal es defectuosa, además indica que los métodos de prueba pueden estar equivocados y el diseño de la PCB tiene un error.



**Ilustración 2-16:** Ojos inyectados en sangre

Fuente: (Tansceivers, 2020)

Un diagrama de ojo típico indicador de buena señal debe contener de "0" a "1" tal como se muestra en la siguiente figura.



**Ilustración 2-17:** Típico diagrama de ojo

Fuente: (Mediano, 2016)

## 2.10. Olt zte zxa10 C320

Como se mencionó en el apartado anterior una OLT, es un dispositivo utilizado para gestionar y controlar los enlaces ópticos con los usuarios finales, establecido este concepto se puede mencionar que la OLT ZTE ZXA10 C320 es una plataforma de acceso óptico convergente de servicio completo PON, diseñada para la ejecución de servicios FTTx a pequeña escala. La OLT ZTE ZXA10 C320 es la mejor opción en el mercado gracias a su capacidad para soportar tecnologías GPON y EPON, lo que la convierte en una opción altamente versátil y configurable a las diversas necesidades de la red (Queenton, 2024).



**Ilustración 2-18:** Dispositivo ZTE ZXA10 C320

Fuente: (Queenton, 2024).

### 2.10.1. Características principales de la OLT ZTE ZXA10 C320

La OLT ZTE ZXA10 C320 ofrece una serie de características y funcionalidades que la convierten en una opción destacada para el diseño de redes ópticas, algunas de las características principales incluyen:

- La ZTE ZXA10 C320 es compatible con tecnologías GPON/EPON/P2P/10GE/EPON/XG-PON1, permitiendo a los operadores adaptarse a los diversos requisitos de la red y escalar su infraestructura según las necesidades.
  - Proporciona capacidades de agregación y control de gestión para HSI, VoIP, IPTV, CATV, backhaul móvil, WiFi y otros servicios completos.
  - Brinda una capacidad de conmutación de hasta 3.2 Tbps, la ZXA10 C320 es capaz de manejar grandes volúmenes de transferencia de datos y satisfacer las demandas de ancho de banda de los usuarios finales, posee una alta densidad de tarjetas de línea, con capacidad líder en la industria de hasta 16 puertos GPON/EPON y 48 canales de placa P2P en un solo chasis.
  - Ofrece una interfaz de administración intuitiva y fácil de usar, permitiendo a los operadores supervisar y controlar de manera eficaz la red óptica.
  - Está diseñada con características de alta disponibilidad, las cuales incluyen fuentes de alimentación redundantes y protección de enlaces para garantizar la continuidad del servicio y minimizar los tiempos de inactividad.
  - Está diseñada de tal manera que su consumo energético es bajo, además está fabricada a partir de materiales respetuosos con el ambiente, cumpliendo estándares como COC europeo y RoHS (Ballon, 2019, p. 65).
- a) Especificaciones de Interfaz de Servicio de Datos por Cable
  - b) Especificaciones de interfaz de servicio por cable

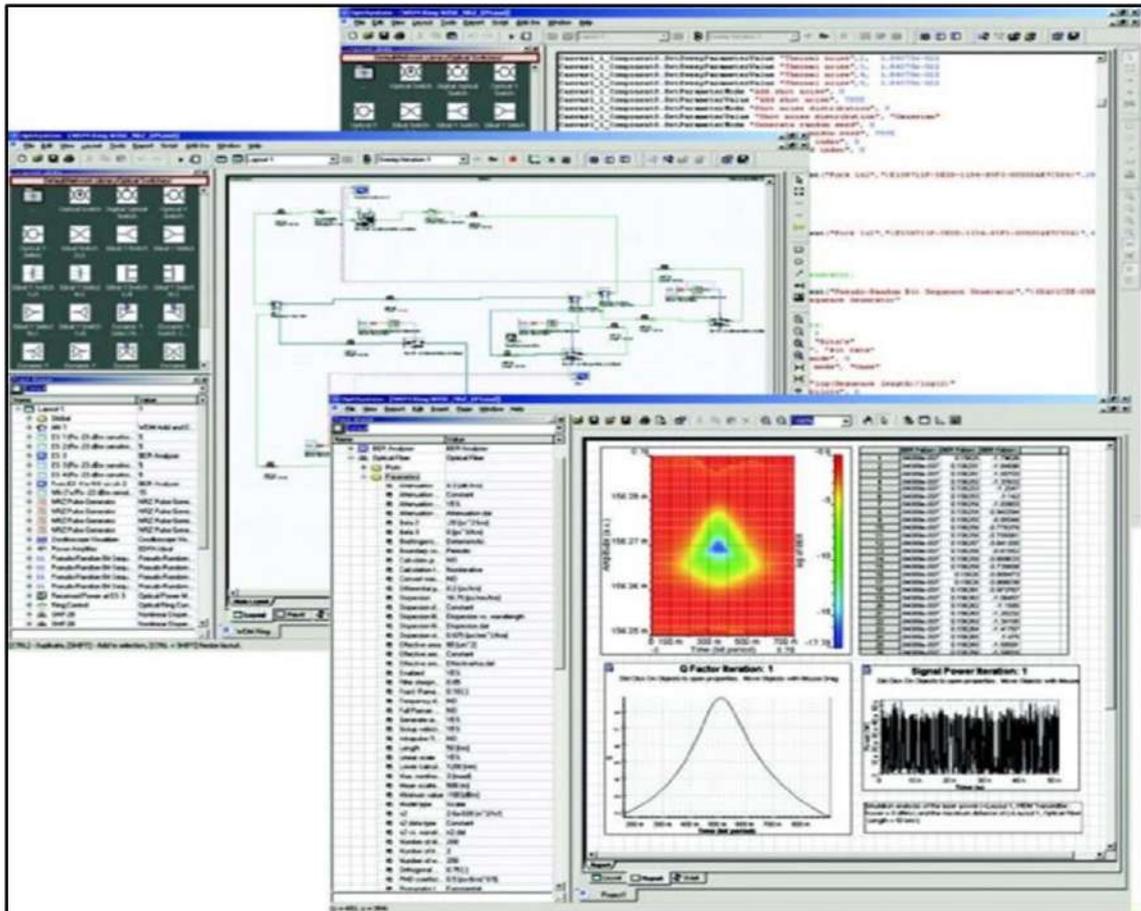
## **2.11. Optisystem**

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizará el software OptiSystem, que es una herramienta de integral para diseñar, simular y analizar sistemas de comunicación óptica. Es ampliamente utilizado en ámbitos académicos e industriales para la investigación, el desarrollo y la educación en el campo de las comunicaciones. Con OptiSystem, los usuarios pueden modelar diversos componentes de los sistemas de comunicación óptica, como láseres, moduladores, fibras, amplificadores y detectores, para simular su rendimiento en diferentes escenarios.

El software proporciona una interfaz gráfica de usuario (GUI) que permite a los usuarios diseñar fácilmente sistemas ópticos complejos mediante la técnica de arrastrar y soltar componentes en un lienzo y conectarlos entre sí. También ofrece una amplia gama de herramientas de análisis para

evaluar métricas de rendimiento del sistema, como calidad de la señal, tasa de error de bits (BER) y diagramas de ojo.

OptiSystem admite una variedad de formatos de modulación, técnicas de multiplexación y arquitecturas de sistema, lo que lo hace adecuado para simular tanto tecnologías de comunicación óptica tradicionales como de vanguardia. Es una herramienta invaluable para optimizar diseños de sistemas, explorar nuevos conceptos y obtener información sobre el comportamiento de los sistemas de comunicación óptica.



**Ilustración 2-19:** OptiSystem

Fuente: (Optiwave, 2022)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla el tipo de investigación, métodos y las técnicas utilizadas en el diseño de la red óptica para la parroquia Lizarzaburu de la ciudad de Riobamba. Además, se describen las especificaciones técnicas de equipos.

#### 3.1. Metodología de la investigación

La metodología de la investigación está conformada por un diseño que incluye un conjunto de procedimientos y técnicas específicas adecuadas para la recolección de la información requerida para cumplir los objetivos propuestos en el desarrollo de la red óptica de la parroquia Lizarzaburu.

##### 3.1.1. *Métodos de investigación*

En el presente trabajo de titulación se utilizarán los siguientes métodos de investigación:

- **De campo:** Permitió la obtención de la información directamente en el lugar de investigación, del cual se obtuvo información de la situación actual de la parroquia urbana Lizarzaburu, con la finalidad de determinar las especificaciones para el diseño óptimo del presente trabajo de titulación.
- **Deductivo:** Se analizó el problema desde una perspectiva global para encontrar una solución específica que ayude a mejorar la calidad de servicio en la nueva red de fibra óptica.
- **Inductivo:** Se basará en observaciones, por lo que comenzamos con la recopilación de datos, los analizamos y llegamos a conclusiones generales, determinar así la problemática para presentar la propuesta formulada en el trabajo de titulación.
- **Analítico:** Cada parte y elemento que conforman la red de fibra óptica será analizada para encontrar las causas y efectos de los hechos o fenómenos relativos al objeto de estudio. Este método nos permite conocer más sobre el tema, lo cual podemos hacer explicar, hacer analogías, entender mejor su comportamiento.

##### 3.1.2. *Enfoque*

El presente trabajo de integración curricular tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo, ya que se basará en métodos para la recolección de datos, que servirán para documentar en la investigación, datos cuantitativos que determinarán los resultados y conclusiones, así mismo como descripciones y observaciones directamente desde el sitio investigado.

### 3.1.3. Técnicas

Las técnicas de investigación son todas las herramientas y procedimientos metodológicos y sistemáticos que tiene como objetivo garantizar la operatividad del proceso investigado. Es decir, obtener información y conocimientos que ayuden al desarrollo del trabajo de investigación. Las técnicas utilizadas en este trabajo fueron:

- **Libros:** usada para búsqueda de información bibliográfica que sustenten el trabajo de titulación, centralizando la investigación en las redes GPON.
- **Documentos:** para recopilar archivos con información con el objetivo de obtener información relacionada a el tema de estudio, se consideró las normativas técnicas de los organismos internacionales de telecomunicaciones como la ITU.
- **Observación:** esta técnica se utilizó para recopilar información de la parroquia Lizarzaburu, lugar donde se va a desarrollar el proyecto, en el cual se puede observar y analizar un diagnóstico detallado del área.
- **Encuesta:** usada para obtener información de la población y la calidad de servicio que actualmente posee, se lo realizo mediante la aplicación de un cuestionario que consta de 6 preguntas.

## 3.2. Metodología para el diseño de la red óptica

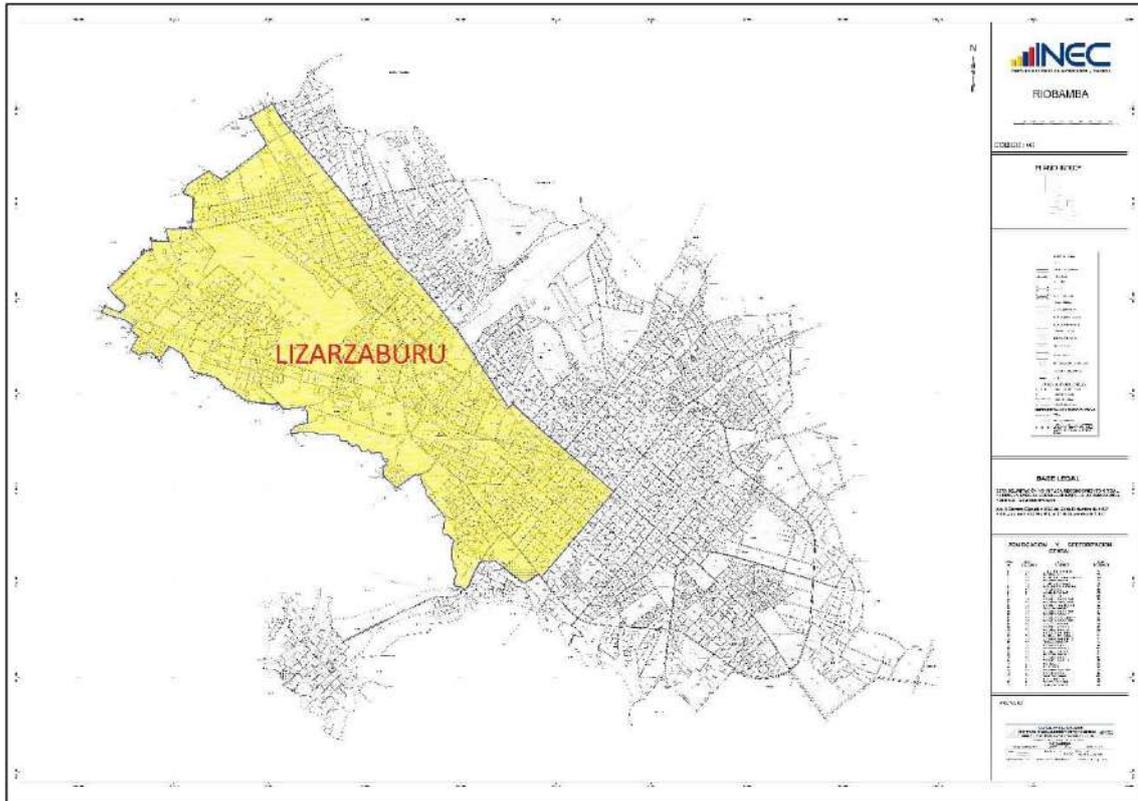
Para el análisis y diseño de la red se tomó en consideración los siguientes aspectos:

- Descripción del escenario.
- Estudio de la demanda.
- Diseño lógico.
- Diseño Físico.
- Presupuesto óptico del enlace
- Simulación de la red.

### 3.2.1. Descripción del escenario

La parroquia Lizarzaburu, es una de las 5 parroquias urbanas del cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo y se encuentra ubicado entre las calles Eugenio Espejo y Primera Constituyente hacia el noroeste de la ciudad. Según información proporcionada por el *INEC* (Instituto Nacional de Estadística y Censos), realizan un cálculo total de la zona urbana de Riobamba, por lo que no está disponible de manera pública cifras como el número total de habitantes y viviendas de la parroquia Lizarzaburu. Estas cifras se solicitaron mediante oficio y se obtuvo la respuesta

pertinente. El cual detalla que a la parroquia urbana Lizarzaburo corresponde las zonas 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 17, 18, 25, 26, 27, 28, 29 del cantón Riobamba, contando con un total de 47398 habitantes. En la Ilustración 3-1 podemos observar el área geográfica correspondiente a la parroquia de interés para proveer el servicio de internet.



**Ilustración 3-1:** Localización geográfica parroquia Lizarzaburo

**Fuente:** (Instituto Nacional de Estadística y Censos)

### 3.2.2. Estudio de la demanda

Para conocer la demanda actual de servicio de telecomunicaciones en el sector corporativo y residencial, fue necesario realizar encuestas en la parroquia Lizarzaburo, ya que en esta parroquia no cuenta con estudios previos con el objetivo de identificar clientes no satisfechos con su servicio actual.

#### 3.2.2.1. Población

Para el diseño se optó por realizar una sectorización del área a cubrir, se procedió a dividir en zonas como indica el anexo A. Del recorrido realizado por la parroquia se pudo constatar, mediante la contabilización el número de viviendas, asumiendo que será el número de posibles usuarios finales, a continuación, se indica la Tabla 3-1 con la cantidad de viviendas por zonas.

**Tabla 3-1:** Cantidad de viviendas por zona

Número de zona	Número de viviendas
Zona 1	208
Zona 2	215
Zona 3	196
Zona 4	226
Zona 5	245
Zona 6	268
Zona 7	214
Zona 8	222
Total	1794

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.2.2. *Tamaño de muestra*

Dado a la gran población y número de familias que posee la parroquia Lizarzaburu, es necesario realizar un muestreo para analizar la insatisfacción y determinar las necesidades. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar el tamaño de la muestra y, por lo tanto, el número de encuestas a realizar:

$$n = \frac{N}{E^2(N-1)+1} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde:

- $n$  =Tamaño de la muestra
- $N$  =Población (Número de Viviendas igual a 1794)
- $E$  =Margen de error (0.05)

Reemplazando los datos en la formula, obtendremos:

$$n = \frac{1794}{0.05^2(1794 - 1) + 1}$$
$$n = 327$$

Por lo tanto, el tamaño de la muestra es de 327 viviendas, por lo que se realizará el mismo número de encuestas.

### 3.2.2.3. Análisis de resultados

Se realizaron 327 encuestas en la parroquia urbana Lizarzaburo de la ciudad de Riobamba, consta de 6 preguntas como se presenta en el Anexo A, donde se realiza preguntas sobre el tipo de servicio, grado de satisfacción, posible adquisición del servicio de internet y cuanto estaría dispuesto a pagar por dicho servicio. A continuación, se indica los resultados obtenidos:

#### 1. ¿Qué servicio de telecomunicaciones posee actualmente?

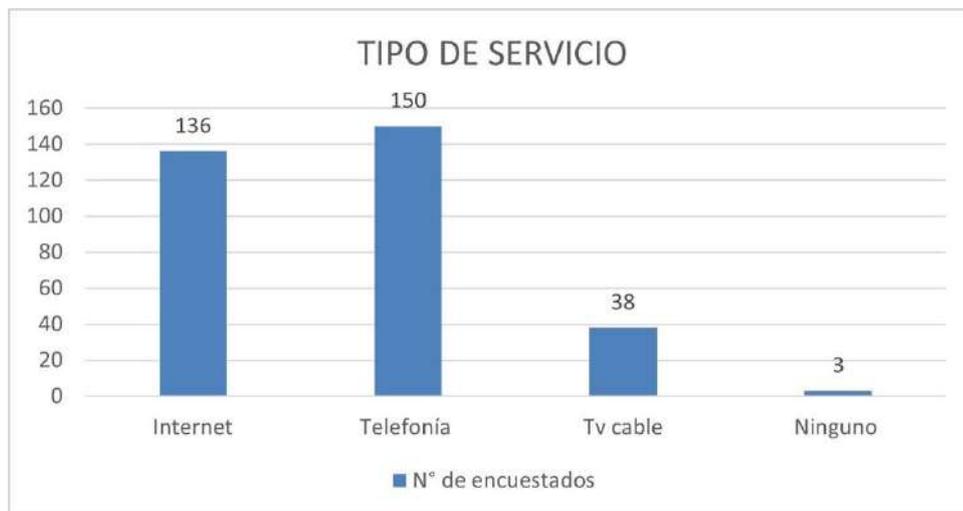
- a) Internet
- b) Telefonía
- c) TV Cable
- d) Ninguno

La Tabla 3-2 indica los resultados obtenidos de la primera pregunta realizada en la encuesta donde hace referencia a que tipo de servicio de telecomunicaciones posee actualmente, además la ilustración 3-2 indica los resultados mediante un diagrama de barras. El objetivo es conocer qué tipo de servicio de telecomunicaciones abunda en la parroquia.

**Tabla 3-2:** Número de usuarios que poseen servicios de telecomunicaciones

SERVICIOS	N° de encuestados	Porcentaje
Internet	136	41,59%
Telefonía	150	45,87%
Tv cable	38	11,62%
Ninguno	3	0,92%
<b>TOTAL</b>	<b>327</b>	<b>100,00%</b>

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.



**Ilustración 3-2:** Usuarios que poseen servicios de telecomunicaciones

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

La ilustración 3-2 muestra que un 99.08% de personas encuestadas posee algún tipo de servicio de telecomunicaciones, siendo la telefonía la predominante con un 45.87%, seguida del internet que posee un alcance del 41.59%, mientras que la TV por cable es mínima.

**2. ¿Indique el grado de satisfacción del servicio actual contratado?**

	Internet	Telefonía	TV Cable
a) Excelente			
b) Bueno			
c) Malo			
d) Regular			

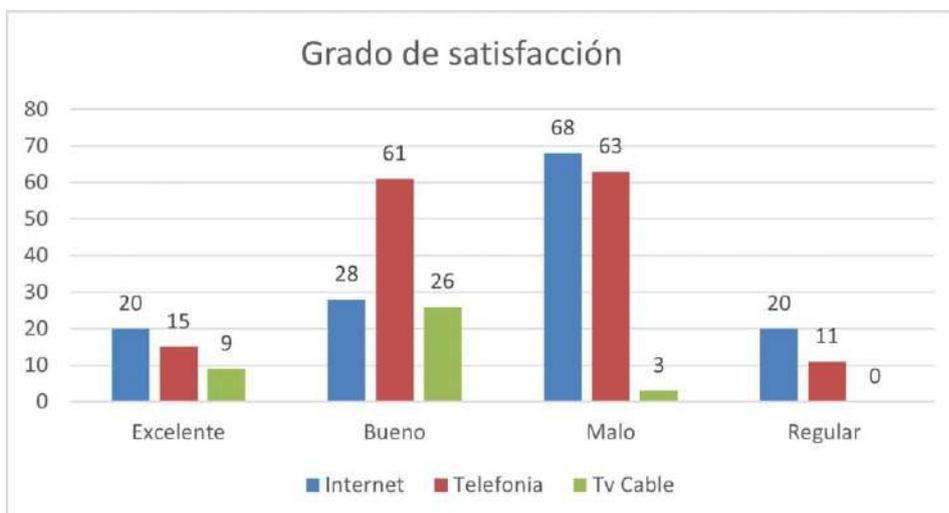
El objetivo de esta pregunta es analizar el grado de satisfacción del servicio que tienen contratado los usuarios con diferentes empresas que existe en la ciudad. En la tabla 3-3 nos indica los resultados recopilados referente al grado de satisfacción.

**Tabla 3-3:** Grado de satisfacción del servicio contratado

Grado	Internet	Telefonía	Tv Cable
Excelente	20	15	9
Bueno	43	71	26
Malo	53	53	3
Regular	20	11	0
<b>Total, N° de encuestados</b>	<b>136</b>	<b>150</b>	<b>38</b>

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

La ilustración 3-3 se presenta la tabulación del grado de satisfacción mediante un diagrama de barras para facilitar la comprensión.



**Ilustración 3-3:** Grado de satisfacción del servicio contratado

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Los resultados indican insatisfacción del usuario con los servicios de telecomunicaciones que poseen actualmente, a pesar de una satisfacción aceptable en algunos casos. El servicio de internet es mayormente malo y no brinda un servicio óptimo, lo que nos permite mejorar su servicio mediante un diseño de red FTTH con estándar GPON.

**3. ¿Al contratar un plan de Internet que tipo de conexión le gustaría que utilice la empresa?**

- a) Fibra óptica
- b) Inalámbrica
- c) Satelital
- d) ADLS (Línea telefónica)

Esta pregunta identificara la preferencia del usuario al contratar un servicio de internet. La tabla 3-4 muestra los datos obtenidos y su porcentaje de aceptabilidad.

**Tabla 3-4:** Tipo de conexión para el servicio de internet

Tipo de Conexión	N° de encuestados	Porcentaje
Fibra óptica	281	86%
Inalámbrica	34	10%
Satelital	5	2%
ADLS (Línea telefónica)	7	2%
<b>TOTAL</b>	<b>327</b>	

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

En la ilustración 3-4, se indica mediante un gráfico de barras la cantidad de clientes que optaron por determinado tipo de conexión para su servicio de internet.



**Ilustración 3-4:** Tipo de conexión

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Se puede observar que existe que existen 4 tipos de conexión para brindar servicio de internet, donde la fibra óptica tiene un mayor porcentaje de aceptación con el 86% de la población encuestada, además tenemos conexiones inalámbricas, satelitales y ADLS que juntas alcanzan el 14%. Por lo tanto, con esta pregunta podemos concluir que existe una viabilidad aceptable para el desarrollo del trabajo de integración curricular.

**4. ¿Conoce usted acerca de las redes GPON?**

- a) Si
- b) No

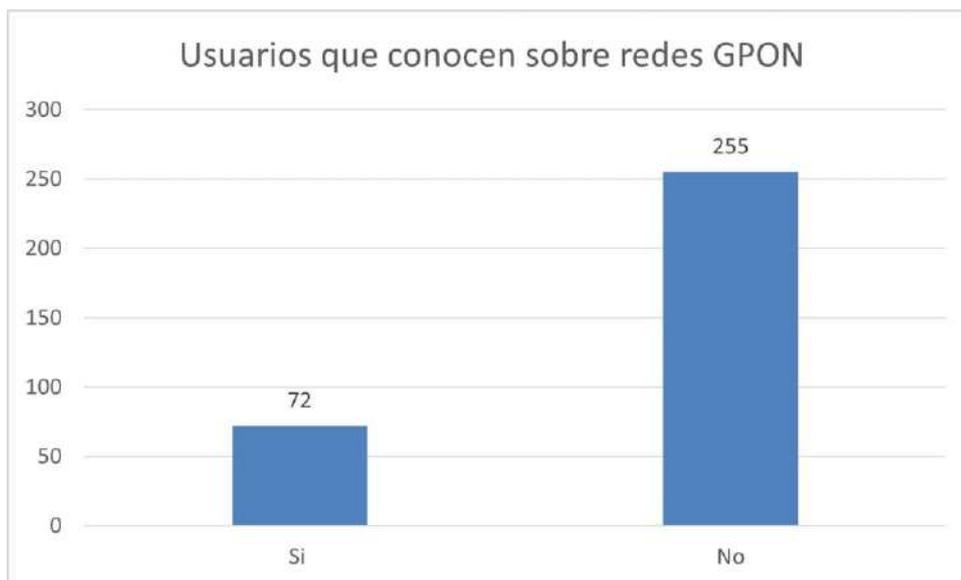
Esta pregunta tiene por objetivo conocer el nivel de conocimiento de los residentes de la parroquia Lizarzaburu con respecto a las redes de fibra óptica y sus progresos tecnológicos, como es el caso de las redes GPON. A continuación, la tabla 3-5 indica los resultados recopilados.

**Tabla 3-5:** Número de usuarios que conocen las redes GPON

Pregunta 4	Resultado	Porcentaje
Si	72	22%
No	255	78%
<b>Total</b>	327	

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

En la ilustración 3-5, se indica mediante un gráfico de barras la cantidad de clientes que conoce acerca de las redes GPON.



**Ilustración 3-5:** Usuarios que conocen sobre las redes GPON

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Se puede apreciar que la gran mayoría de los residentes presentan un notable desconocimiento acerca de los avances tecnológicos en el ámbito de la fibra óptica, en particular un 78% de la población encuestada no conoce acerca de las redes GPON por lo que desconocen cómo llega el internet hacia sus hogares.

**5. ¿Seleccione la cantidad que pagaría por un servicio de internet por medio de fibra óptica?**

- a) \$18 - \$25
- b) \$25 - \$35
- c) Mayor a \$35

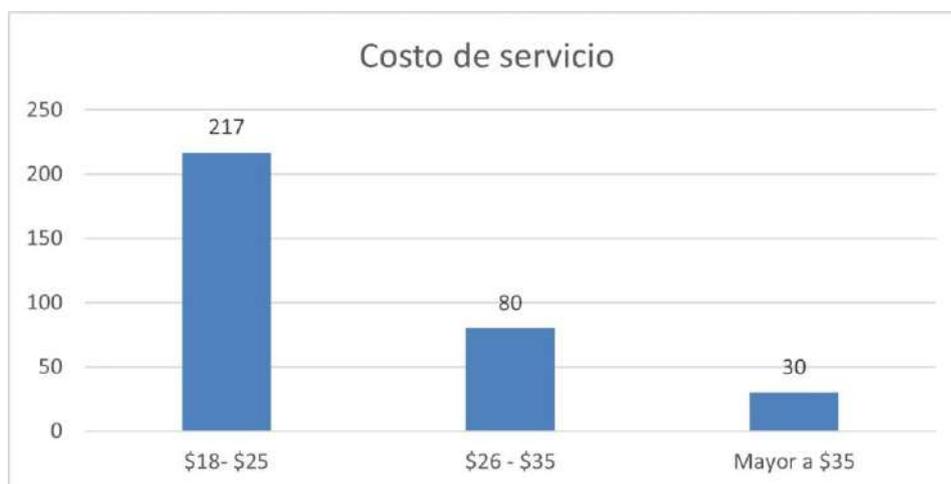
Mediante esta pregunta, se busca obtener información acerca de un valor tentativo o aproximado que los encuestados estarían dispuestos a desembolsar por un servicio de conexión a internet cuyo medio de transmisión sea la fibra óptica.

**Tabla 3-6:** Costo de servicio por medio de fibra óptica

Pregunta 5	Resultado	Porcentaje
\$18- \$25	273	83%
\$26 - \$35	43	13%
Mayor a \$35	11	3%
<b>Total</b>	<b>327</b>	

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

En la ilustración 3-6, se observa una representación gráfica en forma de diagrama de barras que muestra el valor que los usuarios como clientes finales están dispuesto a cancelar para adquirir un servicio de conexión a internet.



**Ilustración 3-6:** Costo de servicio

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Se puede observar que una notable proporción de la población manifiesta que el rango de precios apropiados a pagar por un servicio de internet oscila entre \$18-\$25. Además, se ha podido constatar la presencia de insatisfacción en relación al incremento de tarifas del servicio sin una correspondiente mejora en la velocidad de transferencia de datos y tiempo de respuesta. Adicionalmente, se observa que existe un segmento de la población dispuesto a cancelar una suma que oscila entre \$26-\$35, mientras que un 3% de la población está dispuesto a pagar un monto que excede los \$35.

**6. ¿Contrataría un plan de Internet que le ofrezca mayor velocidad de navegación y mejor calidad de servicio, que cuente con tecnología GPON?**

- a) Si
- b) No

Esta pregunta nos ayudara a determinar la cantidad de usuarios están dispuestos a contratar un plan de internet donde le ofrezcan un servicio de calidad, además cuente con la tecnología GPON. En la siguiente tabla 3-7 se detalla los resultados obtenidos.

**Tabla 3-7:** Número de usuarios que contratarían un plan de internet.

Pregunta 6	Resultado	Porcentaje
Si	246	75%
No	81	25%
<b>Total</b>	327	

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

En la ilustración 3-7, se indica mediante un gráfico de barras la cantidad de clientes que contrarían un plan de internet que cuente con tecnología GPON.



**Ilustración 3-7:** Contratación de servicio

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Como se puede observar, el porcentaje de aceptación de un nuevo proveedor de servicios que garantice una mejor calidad de servicio además ofrezca mayor velocidad de navegación es del 75%, lo que respalda nuestra propuesta de elaboración de una red óptica mediante la OLT ZTE ZX10 C320 con estándar G-PON. Al 25% le preocupa volver a ser estafados de nuevo y que el servicio propuesto no mejore en absoluto.

Podemos concluir que en la parroquia Lizarzaburu posee todavía un gran número de habitantes insatisfechos con el servicio de telecomunicaciones que contrata actualmente, en particular el servicio de internet que es abastecido por diferentes proveedores de la ciudad. Actualmente la demanda de internet en los hogares ha aumentado debido a los cambios en las rutinas laborales, educativas y de entrenamiento por lo que los habitantes sienten la necesidad de permanecer conectados hacia una red que permita su conectividad con el mundo exterior.

La muestra analizada indica una aceptación del 75% a la propuesta tecnológica presentado en el presente trabajo de titulación, por lo que es factible el diseño de una red óptica en la parroquia Lizarzaburu que ayude a la empresa RIO RED de la ciudad de Riobamba a cubrir la demanda y las necesidades de los usuarios.

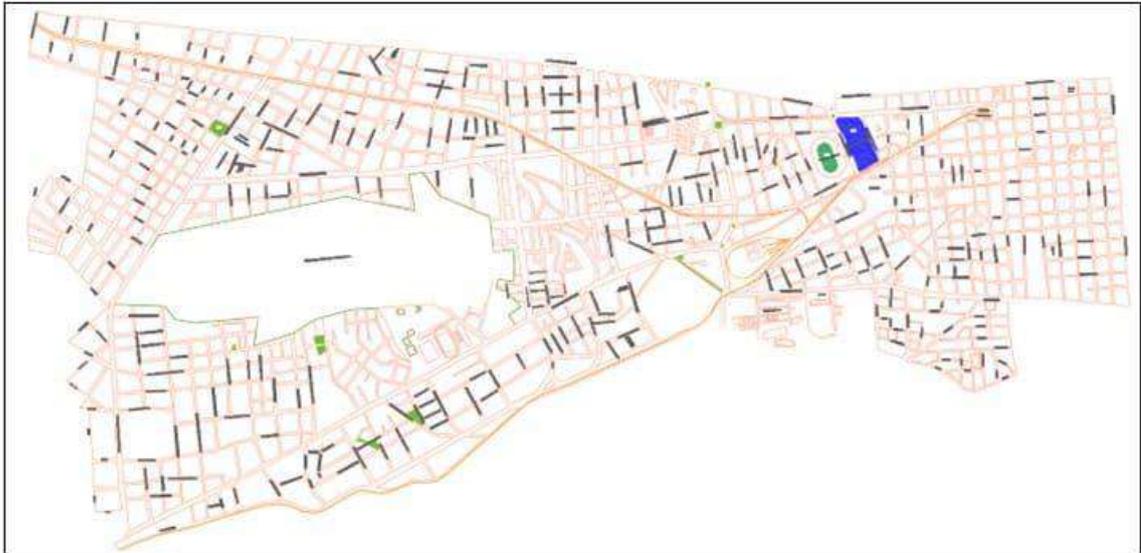
### ***3.2.3. Diseño lógico de la red FTTH***

Para el diseño lógico de la red FTTH se establece en base a las siguientes consideraciones:

- ✓ Delimitación geográfica de la parroquia Lizarzaburu.
- ✓ Arquitectura de la red G-PON
- ✓ Topología de la red G-PON
- ✓ Dimensionamiento de la red

#### ***3.2.3.1. Delimitación geográfica***

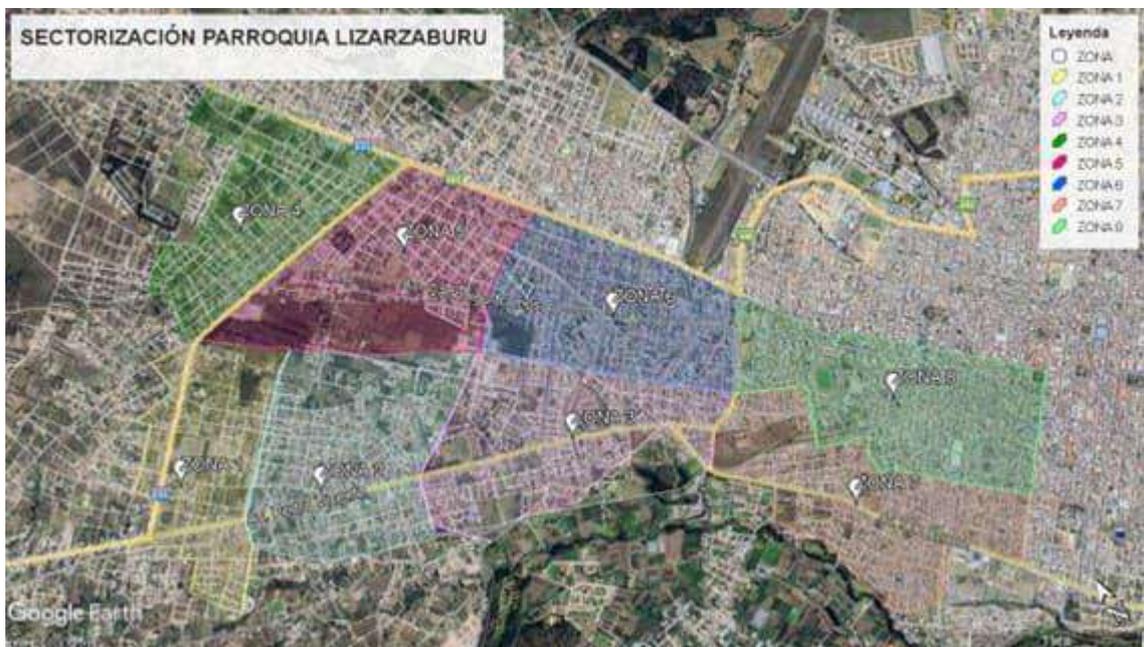
Se realizó la segmentación del área de interés en zonas estratégicas, la ilustración 3-8 indica a la parroquia Lizarzaburu delimitada del resto de la ciudad de Riobamba, a partir de esto se realiza la sectorización en zonas para gestionar eficientemente los recursos tecnológicos durante el diseño y distribución de la red.



**Ilustración 3-8:** Parroquia Lizarzaburu AutoCAD

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Esta parroquia se compone de áreas residenciales y corporativas. En la ilustración 3-9 muestra la sectorización en la que se dividirá en 8 zonas a la parroquia. A continuación, se describirá brevemente cada una de las zonas.



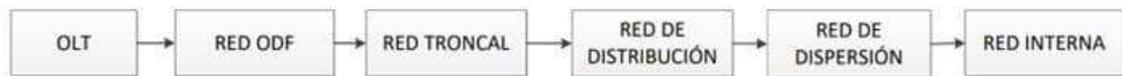
**Ilustración 3-9:** Sectorización de la parroquia Lizarzaburu

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.3.2. Arquitectura de la red G-PON

Como se detalla en el anterior capítulo, existe diversas arquitecturas, pero la tecnología utilizada para el despliegue de la red pertenece al grupo de las tecnologías FTTX que en la actualidad presenta una mayor demanda en el campo de las telecomunicaciones. La conexión FTTH (fiber to the home) hace posible la transmisión de información de datos y video a partir de los nodos principales hasta la vivienda del operador.

La Ilustración 3-10 se puede observar las partes que conforman una red G-PON, estos son la OLT, red feder, red de distribución, red de dispersión, red interna y equipo receptor ONT.

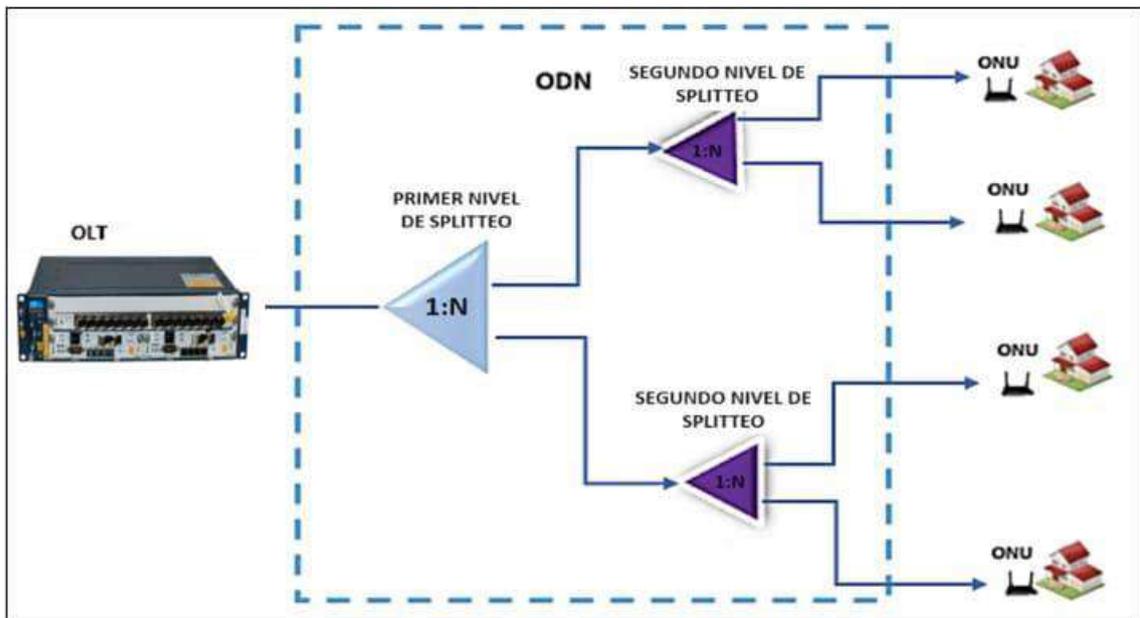


**Ilustración 3-10:** Arquitectura de la red

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.3.3. Topología de la red G-PON

Para el diseño de la red FTTH con estándar G-PON, se optó por elegir una topología tipo árbol debido a su bajo costo y flexibilidad, en la ilustración 3-11, se muestra el tipo de topología usada en el presente trabajo de titulación.



**Ilustración 3-11:** Topología de la red

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Como observamos la Ilustración 3-11, la topología muestra la estructura de una red FTTH, que inicia desde el equipo OLT hasta llegar a la ONT del abonado, que debe atravesar la red ODN encargada de establecer comunicación entre OLT y ONT, está compuesto por splitter primario y secundario llamados también divisores ópticos que pueden admitir una entrada y N salidas.

### 3.2.4. *Determinación del Ancho de Banda*

Para determinar el ancho de banda se evalúa la relación de splitteo que se utiliza en cada una de las zonas que conforman la red con el objetivo de satisfacer las necesidades de ancho de banda de los usuarios residenciales y corporativos.

Según normativa ITU-T, las velocidades nominales en dowlink son de 2.488 Gbps y en uplink son de 1.244 Gbps. Además, se empleará una red asimétrica con velocidades de subida y bajada diferentes. En el diseño de la red FTTH se indica a la parroquia Lizarzaburu dividida en 8 zonas las cuales se tiene proyectado cubrir, donde se determinó que en cada zona el splitteo de primer nivel tendrá una relación de 1:4 mientras que en la de distribución tendrá un segundo nivel de splitteo con una relación de 1:8, resultando en una relación total de 1:32 por cada puerto transmisor.

Para calcular el ancho de banda en cada zona de la red G-PON se utiliza la siguiente ecuación:

$$AB_{FIBRA} = AB(GPON) * NIVEL DE SPLITTEO \quad \text{Ecuación 3-2}$$

#### ✓ **Primer nivel de splitteo**

Con el uso de splitters de relación de 1:4 en las mangas troncales, se utiliza un ancho de banda específico en la fibra de distribución.

$$AB_{FIBRA} = (2.488 \text{ Gbps}) * \frac{1}{4}$$

$$AB_{FIBRA} = 622 \text{ Mbps (Dowlink)}$$

$$AB_{FIBRA} = (1.244 \text{ Gbps}) * \frac{1}{4}$$

$$AB_{FIBRA} = 311 \text{ Mbps (Uplink)}$$

### ✓ Segundo nivel de splitteo

Al usar splitters de relación de 1:8 en cajas NAP, se utiliza un ancho de banda específico en la fibra de dispersión.

$$AB_{FIBRA} = (622 \text{ Gbps}) * \frac{1}{8}$$

$$AB_{FIBRA} = 77.75 \text{ Mbps (Dowlink)}$$

$$AB_{FIBRA} = (311 \text{ Gbps}) * \frac{1}{8}$$

$$AB_{FIBRA} = 38.86 \text{ Mbps (Uplink)}$$

Cada cliente de la red G-PON tendrá un ancho de banda máximo de 77.75 Mbps de bajada y 38.8 Mbps de subida.

### 3.2.5. Diseño de red FTTH

Este apartado describe el diseño de una red FTTH utilizando el estándar G-PON para mejorar el servicio de internet en la parroquia urbana Lizarzaburu de la ciudad de Riobamba. En el diseño, seguimos estándares y recomendaciones de la ITU-T.

Se utilizó el software AutoCAD versión 2023. La red FTTH se compone de una red FEEDER, red de Distribución y red de Dispersión, junto con componentes como divisores ópticos y cajas de Splitters para la distribución. Serán detallados a continuación.

#### 3.2.5.1. Terminal de línea óptica (OLT)

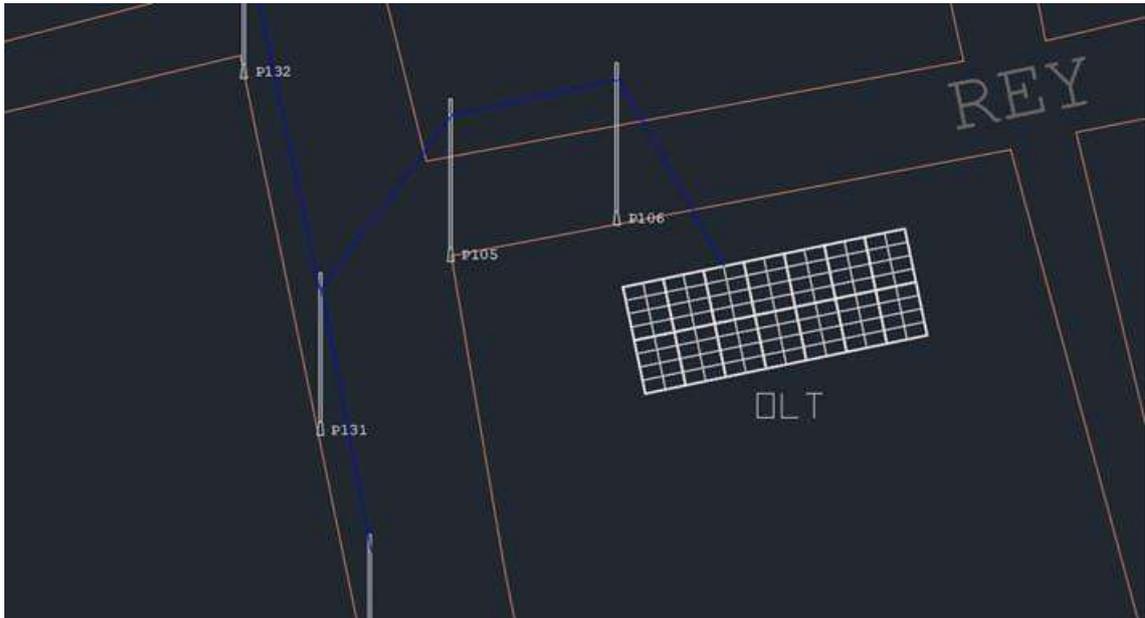
El equipo transmisor u OLT se coloca en un lugar intermedio de toda la zona a cubrir, para que abarque toda la zona y se elige una ubicación céntrica para equilibrar el presupuesto óptico, es por eso por lo que se escoge la ubicación en la Av. La prensa y Rey Cacha.

La Ilustración 3-12 muestra la ubicación de la OLT en Google Earth, y la ilustración 3-13 en el programa AutoCAD con una simbología comprensible para todos los lectores.



**Ilustración 3-12:** Ubicación OLT geográficamente

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.



**Ilustración 3-13:** Ubicación OLT

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.5.2. Distribuidor de fibra óptica (ODF)

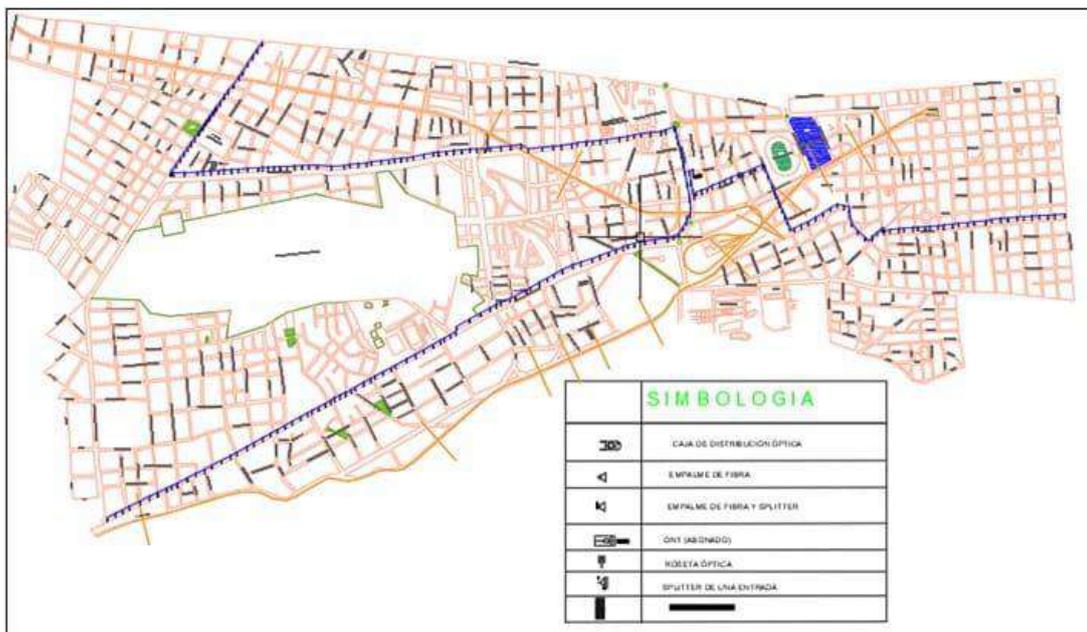
Se instalan en las centrales del operador conocida también como NODO para conectar las fibras que van hacia la red GPON con el OLT, la conexión entre el ODF y el OLT se realiza mediante pigtaills.

### 3.2.5.3. Red troncal

Llamada también red feeder, es una red de fibra que se extiende desde la OLT u ODF hasta el primer nivel de splitteo para crear ramificaciones. Se optó por la ruta más eficiente para el tendido de cable y será instalada de forma aérea. Generalmente, se considera estos parámetros para determinar las calles por las que pasará la red troncal o feeder:

- ✓ Ruta central que abarque toda la zona.
- ✓ Escalabilidad de la red.
- ✓ Evitar calles con curvas pronunciadas.

Para la red troncal o Feeder se emplean cables de fibra óptica de 96,144 y 288 hilos. En el presente diseño se utilizarán cable de fibra óptica de 144 hilos. En la ilustración 3-14, indica el tendido de la red Feeder el cual se extiende hacia el noreste por la Av. Pedro Vicente Maldonado, al norte por la Av. Canonigo Ramos, además se extiende hacia el sureste por la calle Barón de Carondelet.



**Ilustración 3-14:** Red Feeder

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Al ubicar el tendido de cable de fibra óptica por las calles y avenidas antes mencionadas se cumple con el requisito de estar en una zona céntrica y permite la expansión de la red hacia diferentes puntos de la ciudad. Como el nodo, donde se encuentra la OLT está en medio, se destinan 48 hilos hacia la Av. Pedro Vicente Maldonado, 48 hilos hacia la Av. Canonigo Ramos y finalmente 48 hilos hacia la calle Barón de Carondelet.

El tendido de la red Feeder será en forma aérea desde la OLT hasta cada una de las mangas troncales donde estarán ubicados los Splitters de primer nivel, para ello se realizará el sangrado del cable Feeder, donde para poder identificarlos se utilizará la siguiente nomenclatura detallada en la siguiente ilustración 3-15.



**Ilustración 3-15:** Nomenclatura del cable Feeder.

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

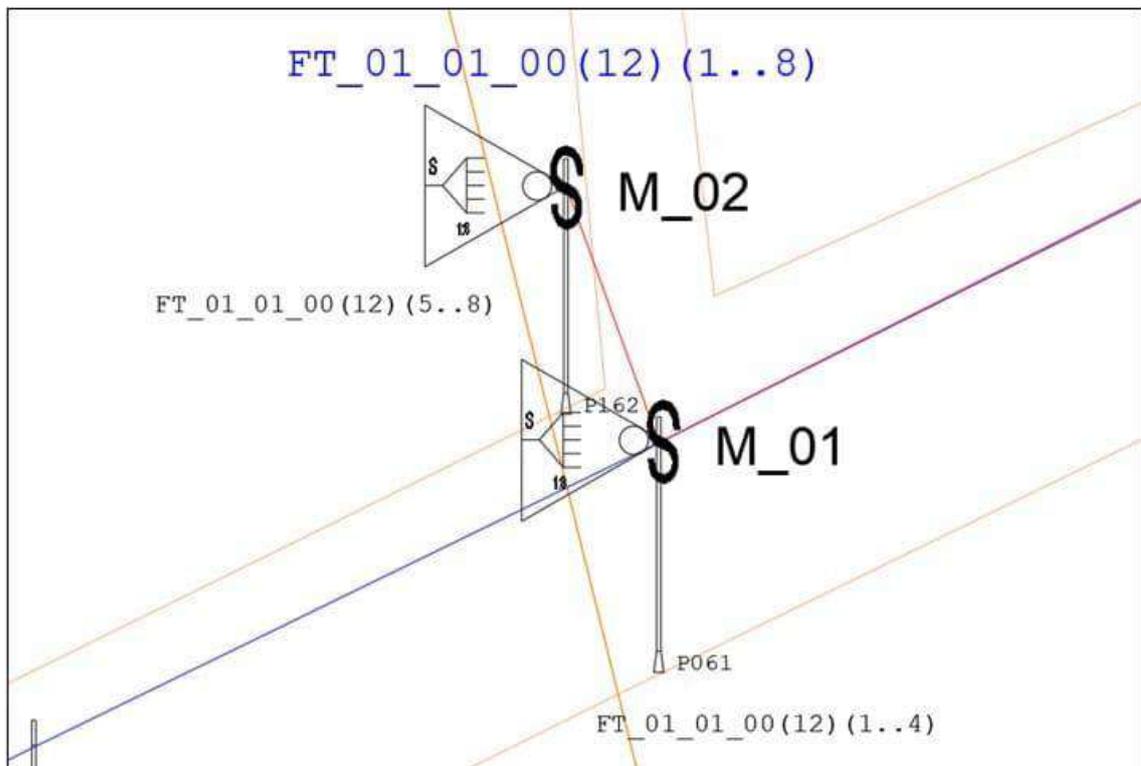
Dado que la parroquia Lizarzaburu se le realizó una sectorización y se encuentra dividido en 8 zonas, se destinaron 8 hilos para cada una de las zonas, 6 hilos que cubran la demanda actual y 2 hilos sobrantes para escalabilidad de la red o posibles fallas. A continuación, se detallará la derivación del cable Feeder para cada una de las zonas.

- **Derivación del cable Feeder para la zona I**

En esta zona se ubicarán dos mangas troncales, dado que el tendido se encuentra a lo largo de la Av. Pedro Vicente Maldonado, en la calle Diego de Covio se realiza el primer sangrado, donde se extrae los 8 primeros hilos del buffer de 144 hilos y se los instalan en dos mangas troncales denominadas M\_01 que estará ubicada frente la calle J. Diguja cruzando la avenida y M\_02 ubicado en la calle J. Diguja y Av. Pedro Vicente Maldonado. En cada manga se ubicarán 4 splitters 1:8, de los cuales se utilizarán 3 splitters en cada manga dejando 1 splitter de reserva para mantenimiento o escalabilidad.

Como se destinaron 48 hilos de fibra y se encuentran instalados a lo largo de la Av. Pedro Vicente Maldonado, su nomenclatura FT\_01\_00\_00(144)(1...48), al realizar el primer sangrado del cable Feeder se extraen 8 hilos de los 48, por lo tanto, su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(1...8) y se fusionaran con la derivación FT\_01\_01\_00(12)(1...8), de cual 4 hilos se destinan a la manga M\_01 es decir FT\_01\_01\_00(12)(1...4) y 4 hilos a la manga M\_02 y nomenclatura FT\_01\_01\_00(12)(5...8).

La ilustración 3-16, indica la ubicación de las magas troncales para la zona 1.



**Ilustración 3-16:** Ubicación mangas M\_01 y M\_02

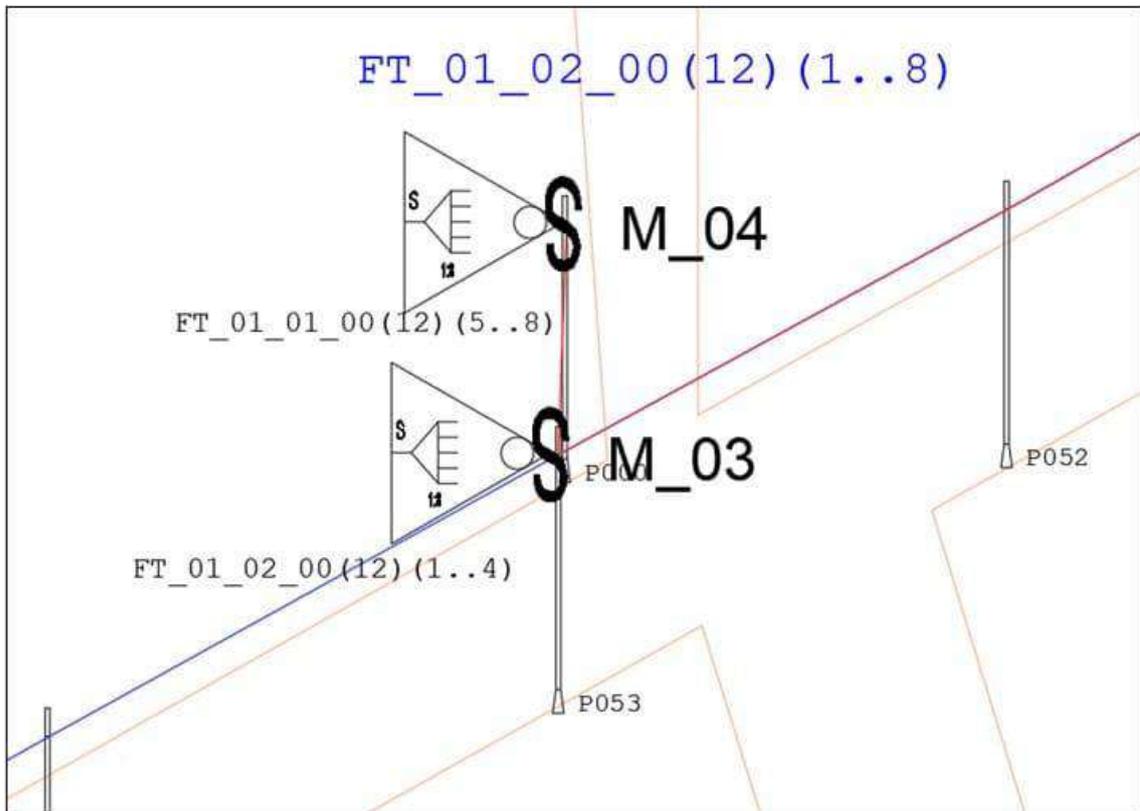
**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

- **Derivación del cable Feeder para la zona II**

De la misma manera como la red Feeder se encuentra también a lo largo de la Av. Pedro Vicente Maldonado, se realiza el sangrado frente las calles Antonio Morgan y Pedro Vicente Maldonado, donde se extraen los 8 hilos de fibra óptica y se los instalan en dos mangas troncales denominadas M\_03 que estará ubicada en la calle López de Armendariz y M\_04 en la calle José de Araujo, de igual manera en cada manga se ubicarán 4 splitters 1:8, de los cuales se utilizarán 3 splitters en cada manga dejando 1 splitter de reserva para mantenimiento o escalabilidad.

Su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(9...16), ya que en la primera zona se ocuparon los primeros 8 hilos, posterior a ello se fusionarán con la derivación FT\_01\_02\_00(12)(1...8), de cual 4 hilos se destinan a la manga M\_04 es decir FT\_01\_02\_00(12)(1...4) y 4 hilos a la manga M\_03 y nomenclatura FT\_01\_02\_00(12)(5...8).

La ilustración 3-17, indica la ubicación de las magas troncales para la zona II.



**Ilustración 3-17:** Ubicación mangas M\_03y M\_04

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

- **Derivación del cable Feeder para la zona III**

Para la zona III se ubicarán dos mangas troncales y se realizaran dos sangrados en la red feeder, el primer sangrado se lo hace en la calle Francisco de Marcos donde se extrae 4 hilos de fibra óptica y se los instala en la manga M\_05 que estará ubicado en las calles Diego de Rodríguez y Pedro Vicente Maldonado, esta manga troncal tendrá 4 splitters 1:8, de los cuales se utilizarán 3 splitters dejando 1 splitter de reserva para mantenimiento o escalabilidad, su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(17...20), ya que se han utilizado 16 hilos, posterior a ello se fusionaran con la derivación FT\_01\_03\_00(6)(1...4).

La ilustración 3-18, indica la ubicación de la manga M\_05.

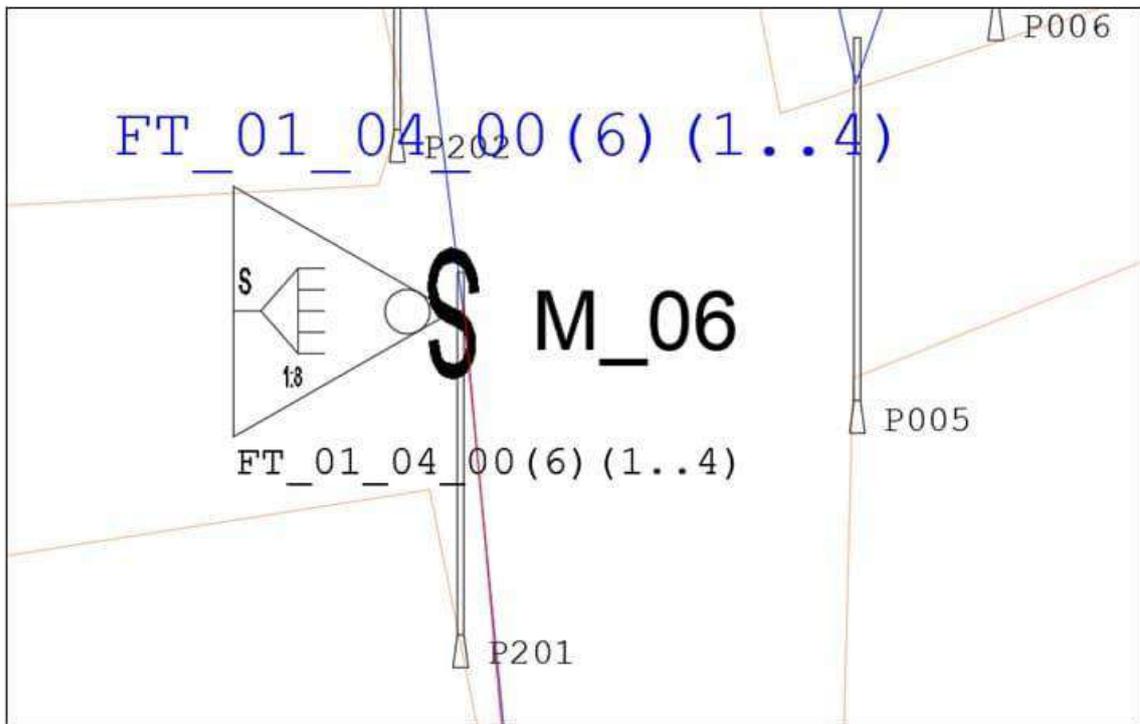


**Ilustración 3-18:** Ubicación manga M\_05

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

El segundo sangrado para esta zona III, se lo hace en la Av. Sergio Quirola y La Prensa donde se extrae 4 hilos de fibra óptica y se los instala en la manga M\_06 que estará ubicado en la Av. Milton Reyes y La Prensa, esta manga troncal de igual manera tendrá 4 splitters 1:8, de los cuales se utilizarán 3 splitters dejando 1 splitter de reserva para mantenimiento o escalabilidad, su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(21...24), ya que se han utilizado 20 hilos de fibra óptica, posterior a ello se fusionaran con la derivación FT\_01\_04\_00(6)(1...4).

La ilustración 3-19, indica la ubicación de la manga M\_06.



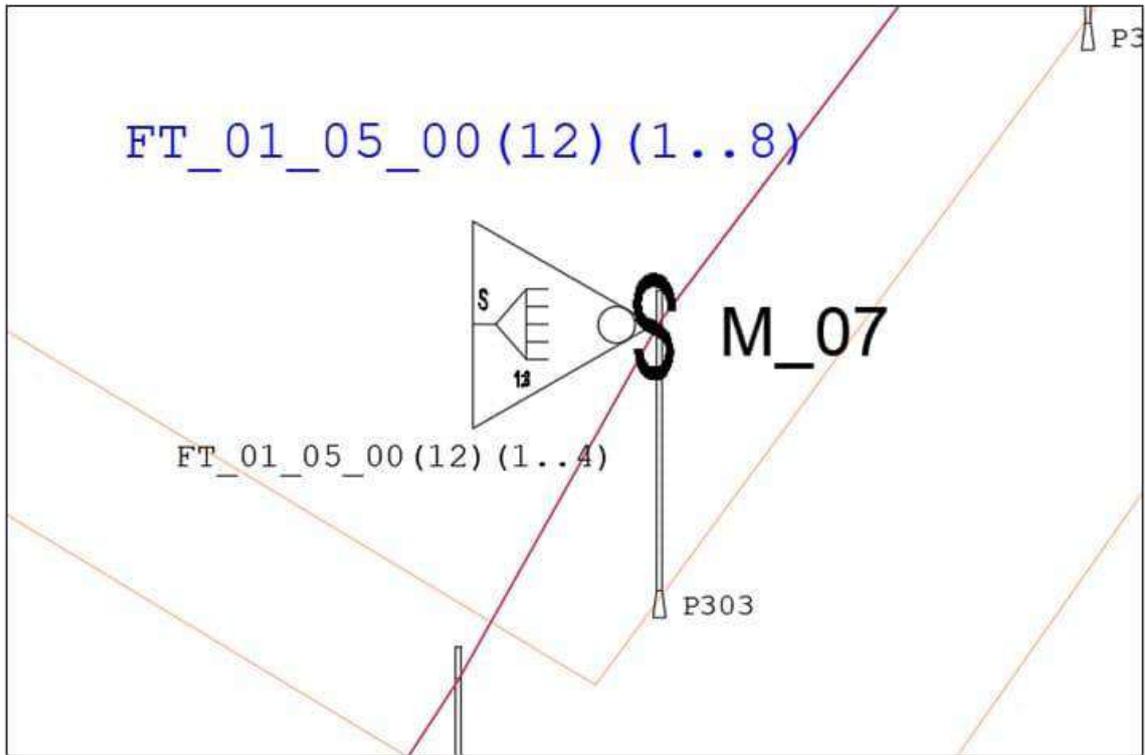
**Ilustración 3-19:** Ubicación manga M\_06

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

- **Derivación del cable Feeder para la zona IV**

En la zona IV, se utiliza otro grupo de los 144 hilos, es decir los siguientes 48 hilos, como la red Feeder se encuentra tendido a lo largo de la Av. Monseñor Leonidas Proaño, el primer sangrado para esta zona se lo realiza en la calle Napo donde se extrae 4 hilos de fibra óptica y se los instala en la manga M\_08 que estará ubicado en las calles Sergio Quirola y Monseñor Leonidas Proaño, esta manga troncal tendrá 4 splitters 1:8, de los cuales se utilizarán 3 splitters dejando 1 splitter de reserva para mantenimiento o escalabilidad, además la manga M\_07 se ubicara en las calles Zamora Chinchipe y Monseñor Leonidas Proaño, su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(49...56) y se fusionarán con la derivación FT\_01\_02\_00(12)(1...8), de cual 4 hilos se destinan a la manga M\_07 es decir FT\_01\_05\_00(12)(1...4) y 4 hilos a la manga M\_08 y nomenclatura FT\_01\_05\_00(12)(5...8).

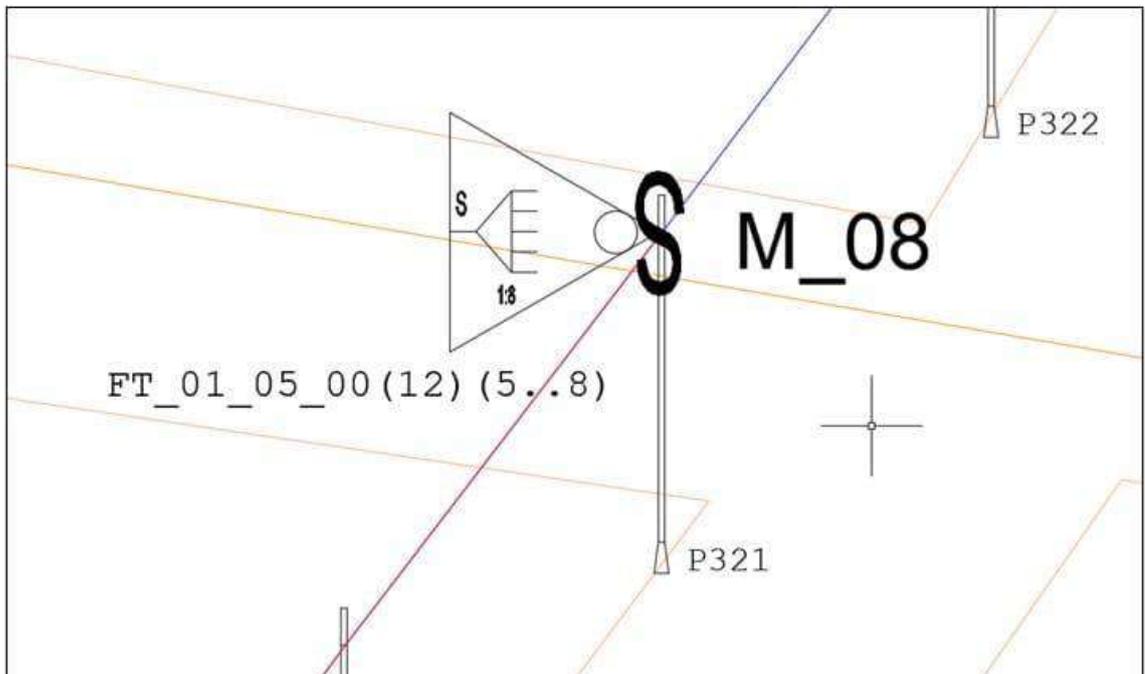
La ilustración 3-20, indica la ubicación de la manga M\_07.



**Ilustración 3-20:** Ubicación manga M\_07

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

La ilustración 3-21, indica la ubicación de la manga M\_08.



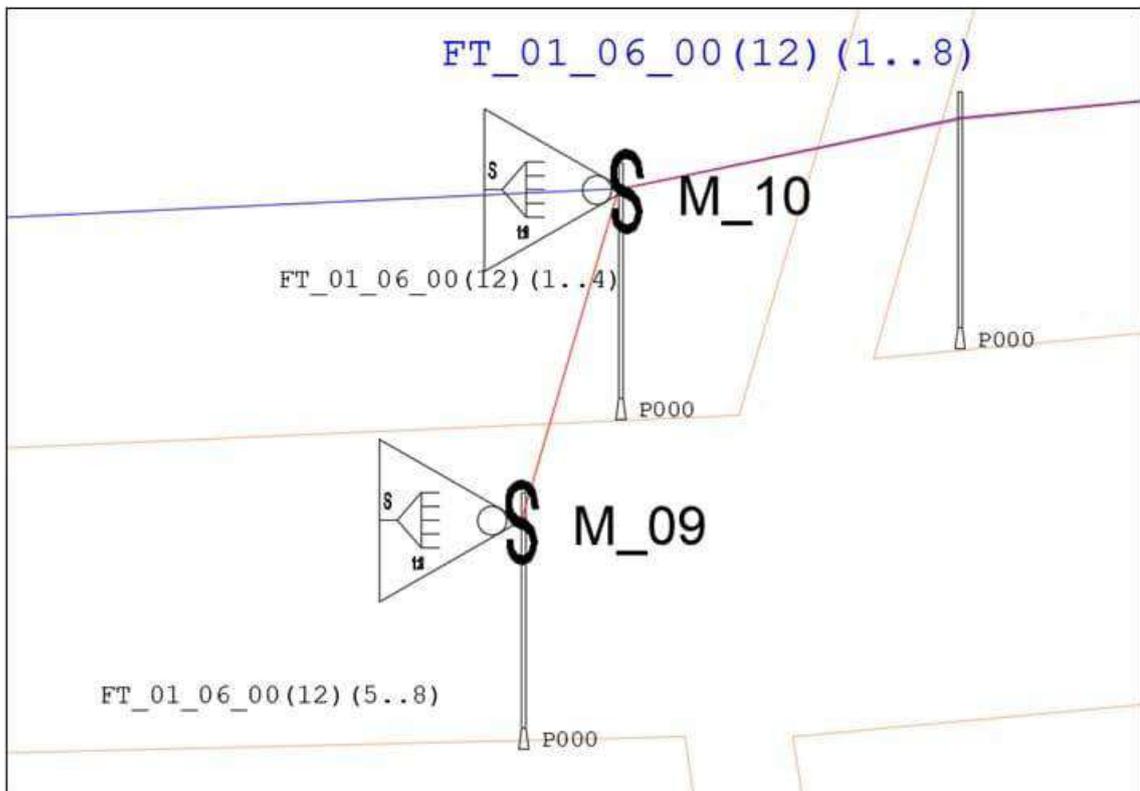
**Ilustración 3-21:** Ubicación manga M\_08

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

- **Derivación del cable Feeder para la zona V**

Para la zona V, la red Feeder se encuentra tendido de forma aérea a lo largo de la Av. Canonigo Ramos, se realiza el sangrado entre las calles Camilo Egas y Canonigo Ramos, donde se extraen los 8 hilos de fibra óptica y se los instalan en dos mangas troncales denominadas M\_09 que estará ubicada en la calle Joaquín Proaño y M\_10 en la calle Nicolas Delgado, de igual manera en cada manga se ubicarán 4 splitters 1:8.

Su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(57...64), posterior a ello se fusionarán con la derivación FT\_01\_06\_00(12)(1...8), de cual 4 hilos se destinan a la manga M\_10 es decir FT\_01\_06\_00(12)(1...4) y 4 hilos a la manga M\_09 y nomenclatura FT\_01\_06\_00(12)(5...8). La ilustración 3-22, indica la ubicación de las mangas troncales para la zona V.



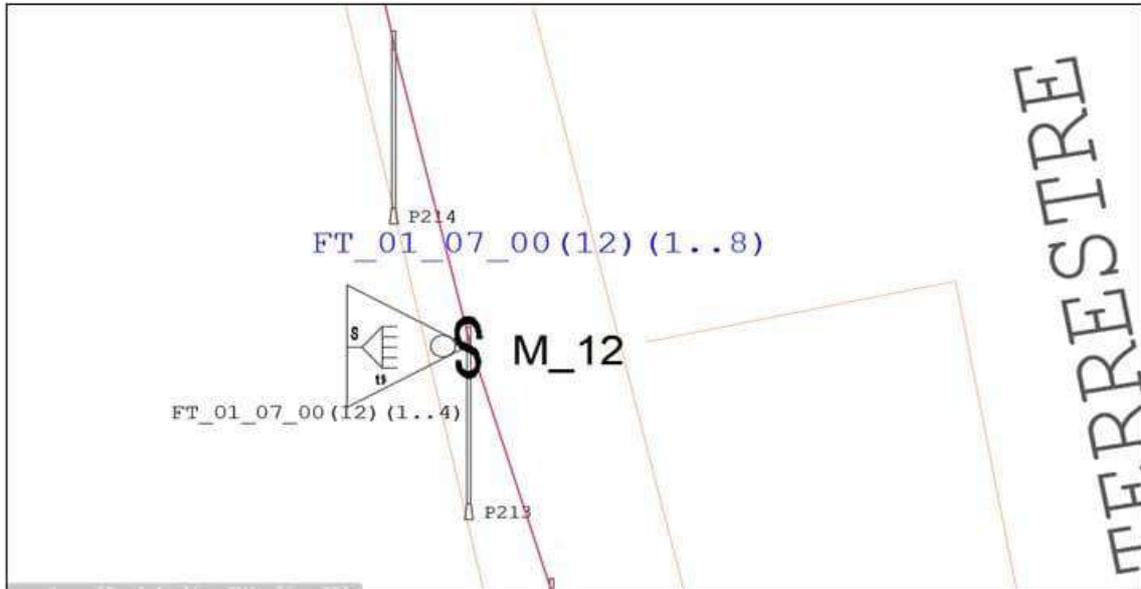
**Ilustración 3-22:** Ubicación mangas M\_09 y M\_10

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

- **Derivación del cable Feeder para la zona VI**

En esta zona se realizó el sangrado de la red Feeder principal se lo hará en la calle J. M. Banderas y Av. La prensa, donde se extraen 8 hilos de fibra óptica y se los instalan en dos mangas troncales denominadas M\_12 que estará ubicada en la calle Agustín Davalos y M\_11 en la calle Agustín Torres y Av. Canonigo Ramos, de igual manera en cada manga se ubicarán 4 splitters 1:8.

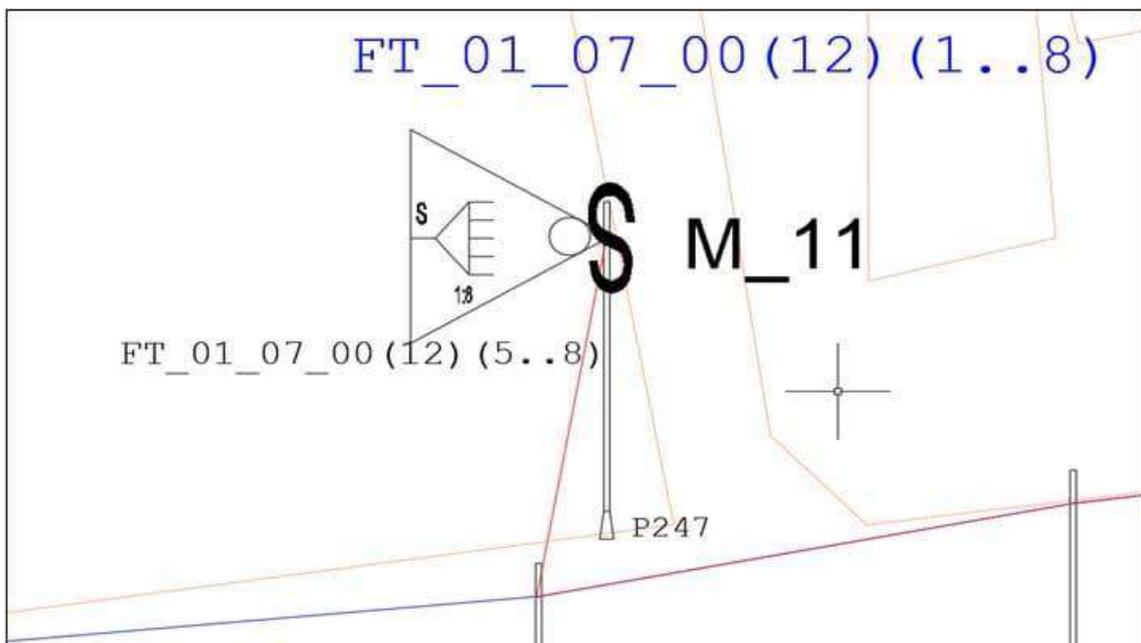
Su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(65...72), posterior a ello se fusionarán con la derivación FT\_01\_07\_00(12)(1...8), de cual 4 hilos se destinan a la manga M\_12 es decir FT\_01\_07\_00(12)(1...4) y 4 hilos a la manga M\_11 y nomenclatura FT\_01\_07\_00(12)(5...8). La ilustración 3-23, indica la ubicación de la manga M\_12.



**Ilustración 3-23:** Ubicación manga M\_12

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

La ilustración 3-24, indica la ubicación de la manga M\_11



**Ilustración 3-24:** Ubicación manga M\_11

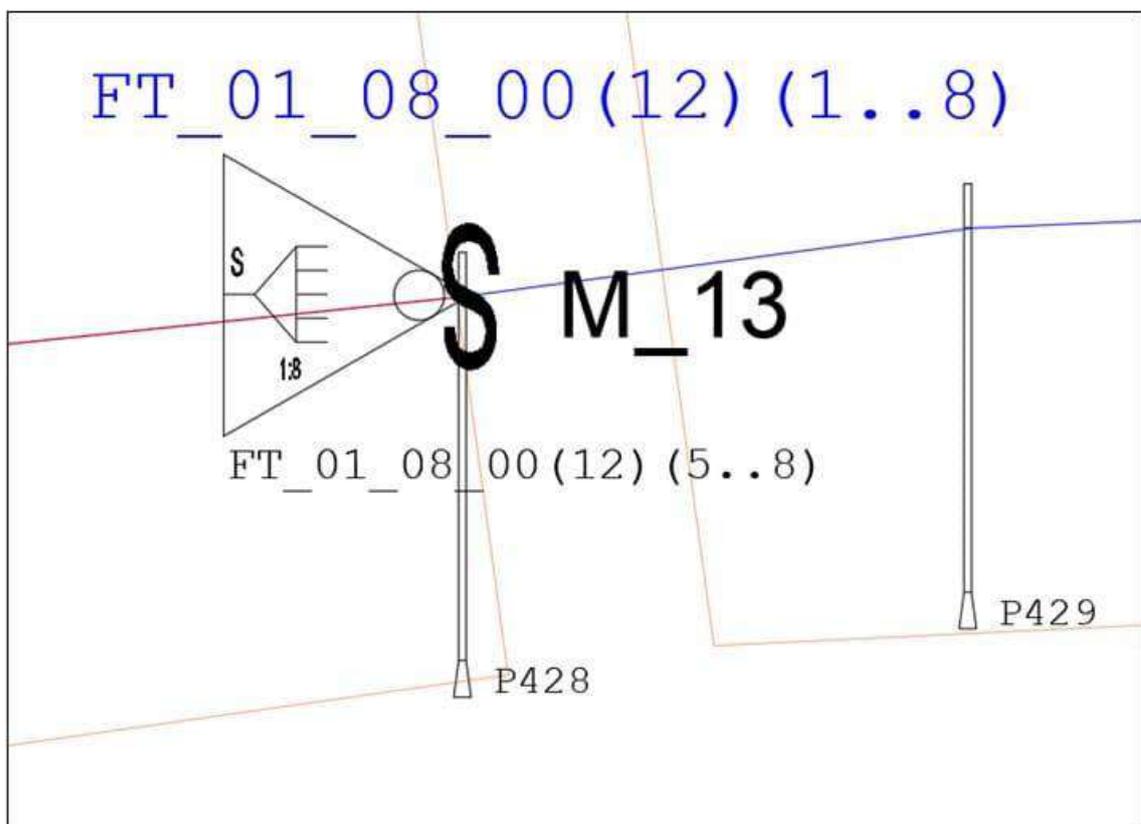
Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

- **Derivación del cable Feeder para la zona VII**

En esta zona VII y para la siguiente zona se utiliza otro grupo de los 144 hilos, por lo que la red Feeder se encontrara tendida de forma aérea a lo largo de la calle Barón de Carondelet. En esta zona se ocuparán las mangas troncales M\_13 y M\_15. El sangrado del cable de la red Feeder se lo hará en las calles Bolívar Chiriboga y Brasil, donde se extraen los 8 hilos de fibra óptica que serán instaladas en las mangas tanto para la zona VII en la manga M\_13 así también para la zona VIII en la manga M\_14. La manga M\_13 será instalada en las calles Francia y Barón de Carondelet y tendrá 4 splitter de 1:8, de los cuales se utilizarán 3 splitters dejando 1 splitter de reserva para mantenimiento o escalabilidad.

Su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(97...104), posterior a ello se fusionarán con la derivación FT\_01\_08\_00(12)(1...8), de cual 4 hilos se destinan a la manga M\_13 es decir FT\_01\_08\_00(12)(5...8) .

La ilustración 3-25, indica la ubicación de la manga M\_13.



**Ilustración 3-25:** Ubicación manga M\_13

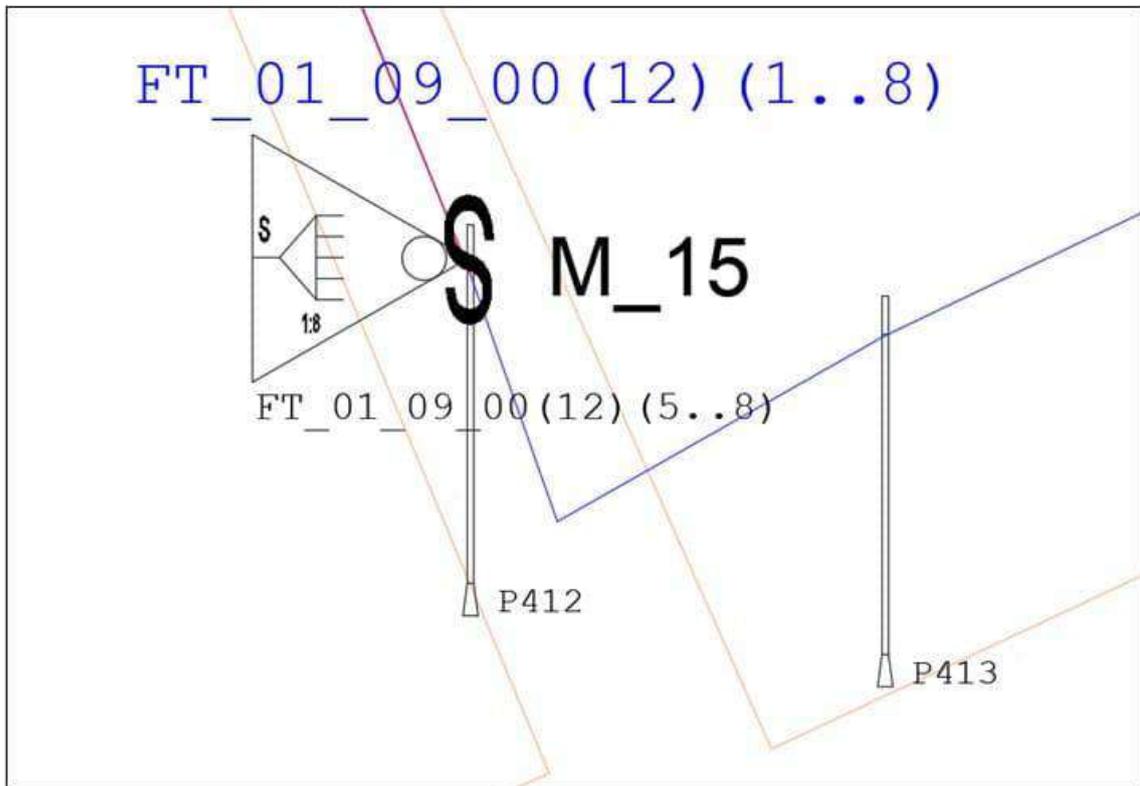
**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

El siguiente sangrado de la red Feeder se lo realiza en las calles Epiclachima y Princesa Toa de igual manera se extraen 8 hilos de fibra óptica que serán instaladas en las mangas tanto para la

zona VII en la manga M\_15 así también para la zona VIII en la manga M\_16. La manga M\_15 será instalada en las calles Calicuchima y Av. Unidad Nacional y tendrá 4 splitter de 1:8.

Su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(105...112), posterior a ello se fusionarán con la derivación FT\_01\_09\_00(12)(1...8), de cual 4 hilos se destinan a la manga M\_15 es decir FT\_01\_09\_00(12)(5...8).

La ilustración 3-26, indica la ubicación de la manga M\_15.



**Ilustración 3-26:** Ubicación manga M\_15

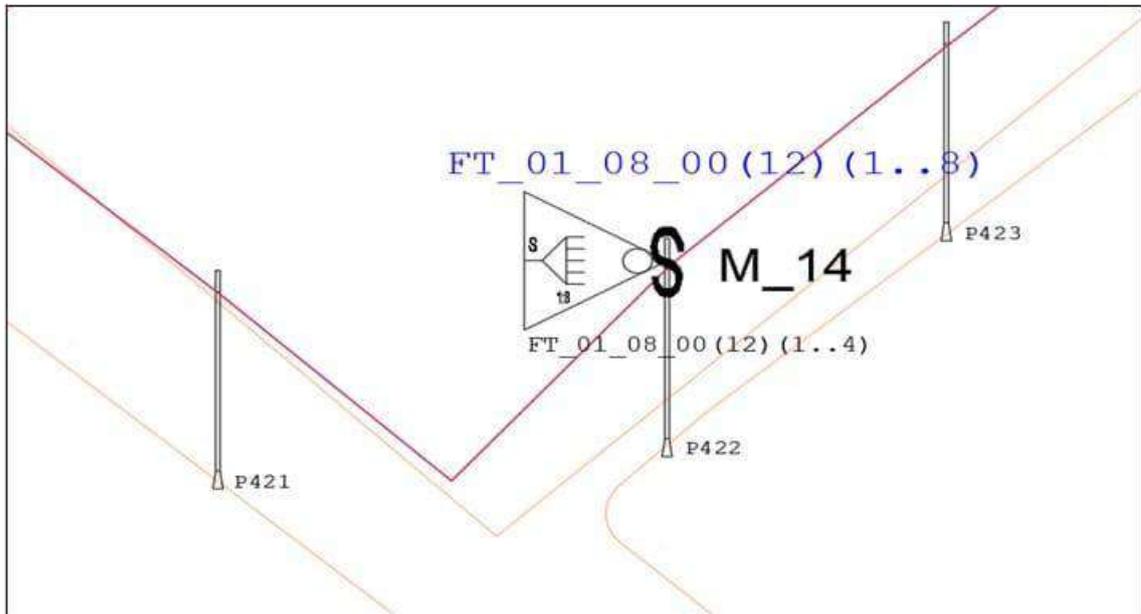
**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

- **Derivación del cable Feeder para la zona VIII**

En esta zona VIII se utilizarán mangas troncales definidas como M\_14 y M\_16, para la derivación de hilos del cable Feeder en esta zona se tomó en cuenta los hilos que fueron sangrados en la anterior zona ya que ambas zonas comparten hilos tanto del primer y segundo sangrado que se realizó en la zona VII.

La M\_14 estará ubicado en las calles Brasil e Isabel de Godin y tendrá 4 splitter de 1:8 y su nomenclatura será FT\_01\_00\_00(144)(97...104), posterior a ello se fusionarán con la derivación FT\_01\_08\_00(12)(1...8), de cual se utiliza los primeros 4 hilos se destinan a la manga M\_14 es decir FT\_01\_08\_00(12)(1...4).

La ilustración 3-27, indica la ubicación de la manga M\_14.

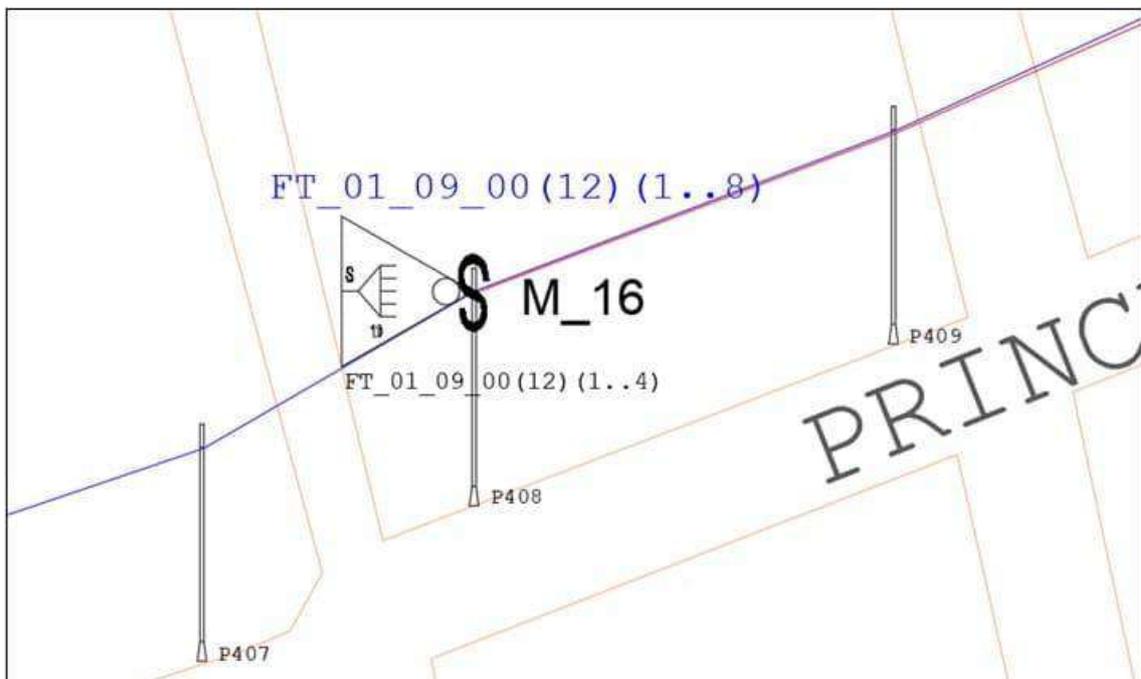


**Ilustración 3-27:** Ubicación manga M\_14

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

La M\_16 estará ubicado en las calles Jacinto Gonzales y Princesa Toa y de igual forma tendrá 4 splitter de 1:8 y su nomenclatura será FT\_01\_09\_00(144)(105...112), posterior a ello se fusionarán con la derivación FT\_01\_09\_00(12)(1...8), de cual los primeros 4 hilos se destinan a la manga M\_16 es decir FT\_01\_09\_00(12)(1...4) .

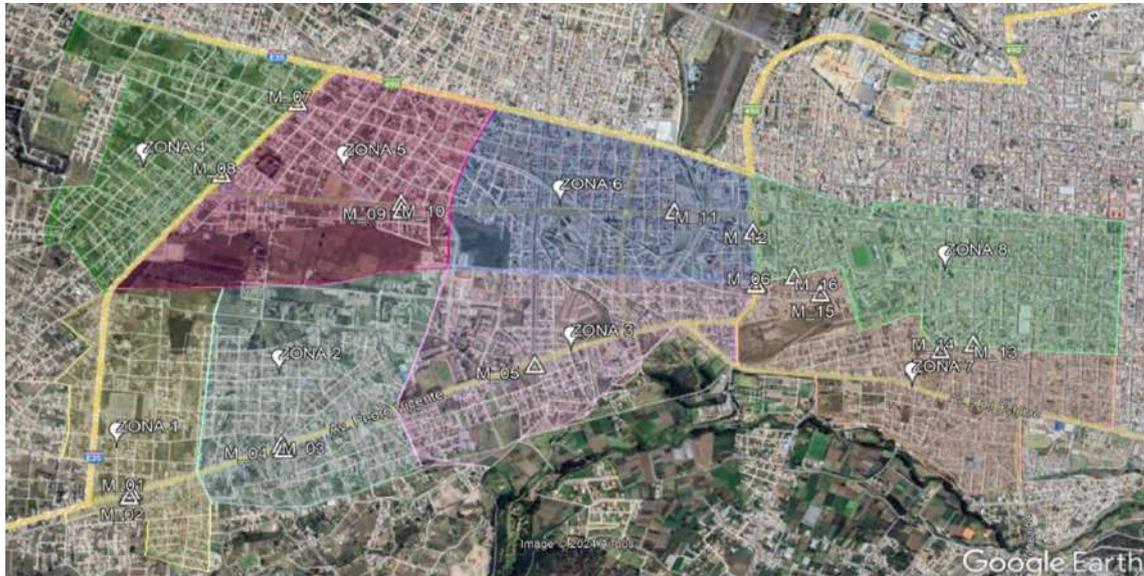
La ilustración 3-28, indica la ubicación de la manga M\_16.



**Ilustración 3-28:** Ubicación manga M\_16

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

La red Feeder es vital en la red FTTH al soportar tráfico de usuarios finales; ubicar mangas estratégicamente optimiza recursos y mantiene calidad del servicio. La figura 3-29 indica la ubicación de cada manga troncal en su zona correspondiente.



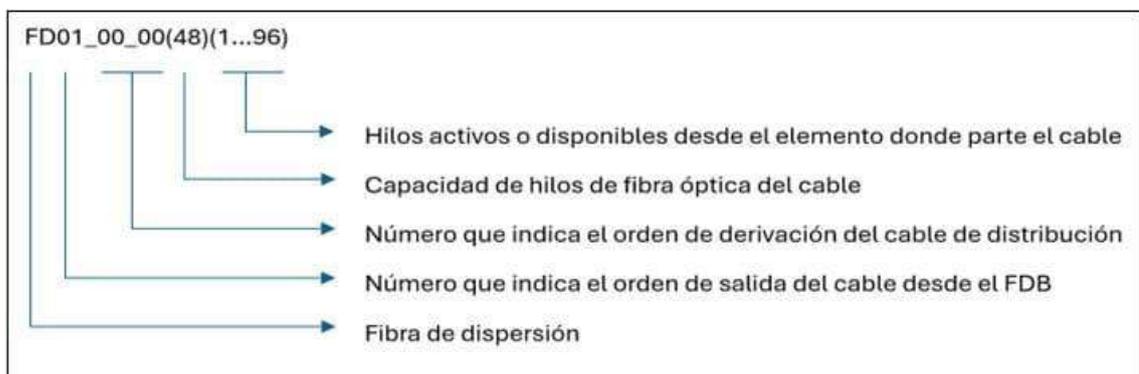
**Ilustración 3-29:** Ubicación de mangas troncales

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

#### 3.2.5.4. Red de distribución

En la red de distribución se utiliza cables de fibras ópticas de 2, 6, 12, 24 y 96 hilos que serán fusionadas en mangas troncales M\_0X donde se encuentran los splitters de primer nivel de 1:4 y es aquí donde inicia la red de distribución, luego se conecta a una caja NAP el mismo que contiene splitters de segundo nivel de 1:8 con la finalidad de distribuir la red por zonas.

La red de distribución puede abarcar hasta 96 hilos por lo que es necesario identificarlos. A continuación, la ilustración 3-30, se observa la nomenclatura.



**Ilustración 3-30:** Nomenclatura de la red de distribución.

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Las cajas de distribución se identifican utilizando un código alfanumérico: A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8; B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, etc., de forma ascendente. Las NAPs tendrán una capacidad máxima de 8 abonados y se colocaran según las áreas de dispersión.

A continuación, se detalla la red de distribución para cada una de las zonas correspondientes a la parroquia Lizarzaburu.

- **Red de distribución para la zona I**

En la ilustración 3-31, indica que la zona I contiene 28 áreas de dispersión que corresponden a 28 NAPs proyectadas que se encontraran distribuidas a lo largo y ancho del lugar. La identificación de cada una de las Cajas NAPS se la representa por letras alfanuméricas que son agrupados en ocho.



**Ilustración 3-31:** Red de distribución zona I

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Según se puede observar la numeración va desde la A1 hasta la D4, dejando en cada una del 1 hilo para el crecimiento de la red. Se necesitan 4 cables de fibra óptica de 12 hilos para satisfacer la necesidad en esta zona. Su nomenclatura correspondiente de los 4 grupos de fibra de 12 hilos es:

- ✓ FD01\_00\_00\_(12)(1...6)
- ✓ FD02\_00\_00\_(12)(1...4)
- ✓ FD03\_00\_00\_(12)(1...10)
- ✓ FD04\_00\_00\_(12)(1...8)

Se recomienda empezar en la NAP más cercana a las mangas M\_01 y M\_02 para distribuir los hilos de fibra óptica.

- **Red de distribución para la zona II**

En la ilustración 3-32, indica que la zona II contiene 32 áreas de dispersión que corresponden a 32 NAPs proyectadas que se encontraran distribuidas a lo largo y ancho del lugar. La identificación de cada una de las Cajas NAPS se la representa por letras alfanuméricas que son agrupados en ocho.



**Ilustración 3-32:** Red de distribución zona II.

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Según se puede observar la numeración va desde la A1 hasta la D8, dejando en cada una del 1 hilo para el crecimiento de la red. Se necesitan 4 cables de fibra óptica de 12 hilos para satisfacer la necesidad en esta zona. Su nomenclatura correspondiente de los 4 grupos de fibra de 12 hilos es:

- ✓ FD05\_00\_00\_(12)(1...6)
- ✓ FD06\_00\_00\_(12)(1...7)
- ✓ FD07\_00\_00\_(12)(1...10)
- ✓ FD08\_00\_00\_(12)(1...9)

Se recomienda empezar en la NAP más cercana a las mangas M\_03 y M\_04 para distribuir los hilos de fibra óptica.

- **Red de distribución para la zona III**

En la ilustración 3-33, indica que la zona III contiene 36 áreas de dispersión que corresponden a 36 NAPs proyectadas que se encontraran distribuidas a lo largo y ancho del lugar. La identificación de cada una de las Cajas NAPS se la representa por letras alfanuméricas que son agrupados en ocho.



**Ilustración 3-33:** Red de distribución zona III.

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Según se puede observar la numeración va desde la A1 hasta la E4, dejando en cada una del 1 hilo para el crecimiento de la red. Se necesitan 4 cables de fibra óptica de 12 hilos para satisfacer la necesidad en esta zona. Su nomenclatura correspondiente de los 4 grupos de fibra de 12 hilos es:

- ✓ FD09\_00\_00\_(12)(1...11)
- ✓ FD10\_00\_00\_(12)(1...11)
- ✓ FD11\_00\_00\_(12)(1...9)
- ✓ FD12\_00\_00\_(12)(1...6)

Se recomienda empezar en la NAP más cercana a las mangas M\_05 y M\_06 para distribuir los hilos de fibra óptica.

- **Red de distribución para la zona IV**

En la ilustración 3-34, indica que la zona IV contiene 24 áreas de dispersión que corresponden a 24 NAPs proyectadas que se encontraran distribuidas a lo largo y ancho del lugar. La identificación de cada una de las Cajas NAPS se la representa por letras alfanuméricas que son agrupados en ocho.



**Ilustración 3-34:** Red de distribución zona IV.

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

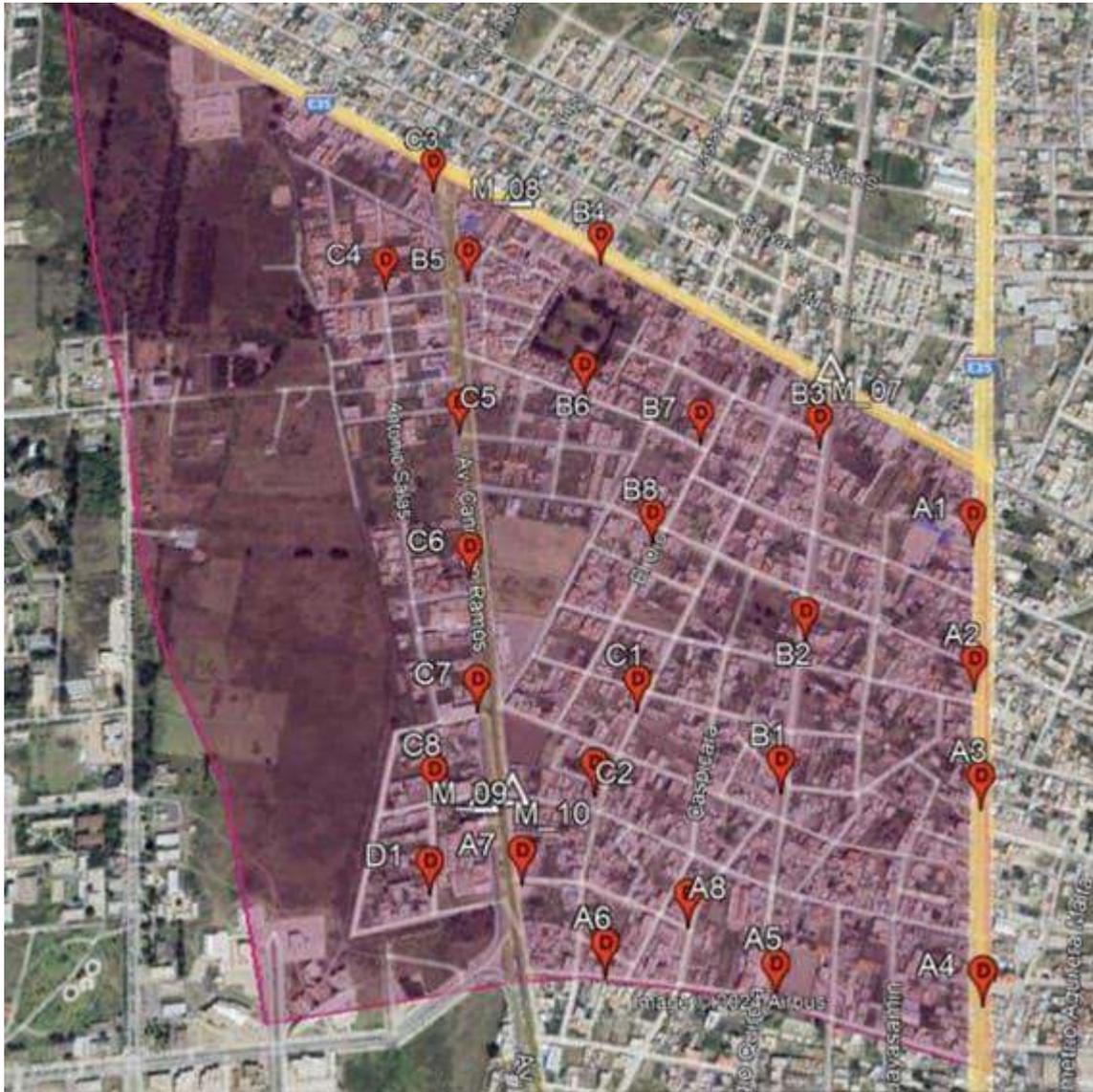
Según se puede observar la numeración va desde la A1 hasta la C8, dejando en cada una del 1 hilo para el crecimiento de la red. Se necesitan 4 cables de fibra óptica de 12 hilos para satisfacer la necesidad en esta zona. Su nomenclatura correspondiente de los 4 grupos de fibra de 12 hilos es:

- ✓ FD13\_00\_00\_(12)(1...6)
- ✓ FD14\_00\_00\_(12)(1...6)
- ✓ FD15\_00\_00\_(12)(1...6)
- ✓ FD16\_00\_00\_(12)(1...6)

Se recomienda empezar en la NAP más cercana a las mangas M\_07 y M\_08 para distribuir los hilos de fibra óptica.

- **Red de distribución para la zona V**

En la ilustración 3-35, indica que la zona V contiene 25 áreas de dispersión que corresponden a 25 NAPs proyectadas que se encontraran distribuidas a lo largo y ancho del lugar. La identificación de cada una de las Cajas NAPS se la representa por letras alfanuméricas que son agrupados en ocho.



**Ilustración 3-35:** Red de distribución zona V

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Según se puede observar la numeración va desde la A1 hasta la D1, dejando en cada una del 1 hilo para el crecimiento de la red. Se necesitan 4 cables de fibra óptica de 12 hilos para satisfacer la necesidad en esta zona. Su nomenclatura correspondiente de los 4 grupos de fibra de 12 hilos es:

- ✓ FD17\_00\_00\_(12)(1...8)
- ✓ FD18\_00\_00\_(12)(1...7)
- ✓ FD19\_00\_00\_(12)(1...4)
- ✓ FD20\_00\_00\_(12)(1...7)

Se recomienda empezar en la NAP más cercana a las mangas M\_09 y M\_10 para distribuir los hilos de fibra óptica.

- **Red de distribución para la zona VI**

En la ilustración 3-36, indica que la zona VI contiene 41 áreas de dispersión que corresponden a 41 NAPs proyectadas que se encontraran distribuidas a lo largo y ancho del lugar. La identificación de cada una de las Cajas NAPS se la representa por letras alfanuméricas que son agrupados en ocho.



**Ilustración 3-36:** Red de distribución zona VI

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Según se puede observar la numeración va desde la A1 hasta la F1, dejando en cada una del 1 hilo para el crecimiento de la red. Se necesitan 4 cables de fibra óptica de 12 hilos para satisfacer la necesidad en esta zona. Su nomenclatura correspondiente de los 4 grupos de fibra de 12 hilos es:

- ✓ FD21\_00\_00\_(12)(1...11)
- ✓ FD22\_00\_00\_(12)(1...10)
- ✓ FD23\_00\_00\_(12)(1...10)
- ✓ FD24\_00\_00\_(12)(1...10)

Se recomienda empezar en la NAP más cercana a las mangas M\_11 y M\_12 para distribuir los hilos de fibra óptica.

- **Red de distribución para la zona VII**

En la ilustración 3-37, indica que la zona VII contiene 42 áreas de dispersión que corresponden a 42 NAPs proyectadas que se encontraran distribuidas a lo largo y ancho del lugar. La identificación de cada una de las Cajas NAPS se la representa por letras alfanuméricas que son agrupados en ocho.



**Ilustración 3-37:** Red de distribución zona VII.

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Según se puede observar la numeración va desde la A1 hasta la F2, dejando en cada una del 1 hilo para el crecimiento de la red. Se necesitan 4 cables de fibra óptica de 12 hilos para satisfacer la necesidad en esta zona. Su nomenclatura correspondiente de los 4 grupos de fibra de 12 hilos es:

- ✓ FD25\_00\_00\_(12)(1...12)
- ✓ FD26\_00\_00\_(12)(1...8)
- ✓ FD27\_00\_00\_(12)(1...12)
- ✓ FD28\_00\_00\_(12)(1...10)

Se recomienda empezar en la NAP más cercana a las mangas M\_13 y M\_15 para distribuir los hilos de fibra óptica.

- **Red de distribución para la zona VIII**

En la ilustración 3-38, indica que la zona VIII contiene 45 áreas de dispersión que corresponden a 45 NAPs proyectadas que se encontraran distribuidas a lo largo y ancho del lugar. La identificación de cada una de las Cajas NAPS se la representa por letras alfanuméricas que son agrupados en ocho.



**Ilustración 3-38:** Red de distribución zona VIII.

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Según se puede observar la numeración va desde la A1 hasta la F5, dejando en cada una del 1 hilo para el crecimiento de la red. Se necesitan 4 cables de fibra óptica de 12 hilos para satisfacer la necesidad en esta zona. Su nomenclatura correspondiente de los 4 grupos de fibra de 12 hilos es:

- ✓ FD29\_00\_00\_(12)(1...12)
- ✓ FD30\_00\_00\_(12)(1...10)
- ✓ FD31\_00\_00\_(12)(1...11)
- ✓ FD32\_00\_00\_(12)(1...12)

Se recomienda empezar en la NAP más cercana a las mangas M\_14 y M\_16 para distribuir los hilos de fibra óptica.

### 3.2.5.5. Red de dispersión

La red de dispersión conecta las cajas de distribución con los usuarios finales a través de rosetas ópticas en las viviendas, cada caja NAP puede abastecer hasta 8 clientes.

### 3.2.5.6. Red interna

Es el canal de comunicación en la vivienda del abonado que va desde la roseta óptica y el router dando finalizado la red GPON. Por lo que se recomienda colocar el modem en un lugar específico para una buena cobertura.

### 3.2.6. Diseño físico de red FTTH

El diseño físico implica seleccionar los equipos a utilizar en la red GPON. Una red FTTH consta de equipos activos y pasivos. En la actualidad existen diversas empresas de Telecomunicaciones a nivel mundial dedicado a crear y ofertar elementos de una red FTTH. A continuación, se describirá los elementos activos y pasivos a utilizar.

#### 3.2.6.1. Elementos activos

Los elementos activos de fibra óptica comprenden los dispositivos que requieren energía para operar y desempeñan funciones esenciales en la transmisión y recepción de señales ópticas.

##### 3.2.6.1.1. Transmisores (OLT - Optical Line Terminal)

En el presente trabajo de titulación se propone utilizar la OLT ZTE ZXA10 C320 es un dispositivo compacto y de alto rendimiento utilizado en redes de fibra óptica. Es ideal para implementaciones de redes de acceso de banda ancha, permitiendo conexiones rápidas y eficientes para diversos tipos de servicios. Este modelo es conocido por su flexibilidad y capacidad de soportar múltiples tecnologías, como GPON y XG-PON, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones en el ámbito de las telecomunicaciones. Su diseño modular y escalable facilita la expansión y el mantenimiento, ofreciendo una solución rentable y adaptable para proveedores de servicios de internet.



**Ilustración 3-39:** OLT ZTE ZXA10 C320

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

A continuación, la tabla 3-8 detalla algunas características generales:

**Tabla 3-8:** Características ZTE ZXA10 C320

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Modelo</b>	ZTE ZXA10 C320
<b>Tipo de Dispositivo</b>	OLT (Optical Line Terminal)
<b>Capacidad de PON</b>	Soporta GPON, XG-PON y XGS-PON
<b>Puertos de Red</b>	2 a 4 puertos de 10GE, 2 puertos GE/FE
<b>Capacidad de Conmutación</b>	800 Gbps
<b>Ranuras de Servicio</b>	Hasta 8 ranuras para tarjetas de servicio
<b>Ranuras de Control</b>	2 ranuras de control
<b>Redundancia</b>	Redundancia de fuentes de alimentación y tarjetas de control
<b>Consumo de Energía</b>	< 200W (depende de la configuración)
<b>Dimensiones</b>	2U de altura, 19 pulgadas de ancho (montaje en rack)
<b>Temperatura de Operación</b>	-25°C a 55°C
<b>Humedad Relativa</b>	5% a 95%
<b>Gestión y Administración</b>	Compatible con ZTE EMS (Element Management System), SNMP
<b>Aplicaciones</b>	FTTH (Fiber to the Home), FTTB (Fiber to the Building), FTTC (Fiber to the Curb), FTTN (Fiber to the Node)
<b>Seguridad</b>	Soporte para autenticación y encriptación

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.6.1.2. *ONT*

Las ONT (Optical Network Terminal) son dispositivos utilizados en redes de fibra óptica para conectar a los usuarios finales con la red del proveedor de servicios. Para el diseño de la red FTTH, se utiliza una ONT de la misma marca de la OLT, la ONT ZTE F660 V8.0, la ilustración 3-40 muestra a este modelo de OLT.



**Ilustración 3-40:** ONT ZTE F660

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

La tabla ofrece una visión detallada de las especificaciones y características del ONT ZTE F660 V8.0, destacando su capacidad para soportar múltiples servicios y su compatibilidad con diferentes infraestructuras de red.

**Tabla 3-9:** Características ZTE F660 V8.0

Característica	Descripción
<b>Modelo</b>	ZTE F660 V8.0
<b>Tipo de Dispositivo</b>	ONT (Optical Network Terminal)
<b>Interfaz de Red</b>	Puerto GPON
<b>Puertos LAN</b>	4 puertos Ethernet (10/100/1000 Mbps)
<b>Puertos de Voz (VoIP)</b>	2 puertos FXS para servicios de voz
<b>WiFi</b>	WiFi 802.11b/g/n/ac, doble banda (2.4GHz y 5GHz)
<b>Puertos USB</b>	1 puerto USB 2.0
<b>Puertos CATV</b>	No disponible
<b>Alimentación</b>	Adaptador de corriente externo (12V/1.5A)
<b>Dimensiones</b>	200 mm × 150 mm × 35 mm
<b>Temperatura de Operación</b>	0°C a 40°C
<b>Sensibilidad del receptor</b>	-28 dBm
<b>Compatibilidad</b>	Compatible con OLTs GPON de diferentes fabricantes
<b>Gestión y Administración</b>	Gestión remota a través de TR-069, OMCI, y una interfaz web
<b>Seguridad</b>	Soporte para encriptación AES-128 en la capa de enlace
<b>Indicadores LED</b>	Indicadores para PON, LAN, VoIP, WiFi, y alimentación
<b>Aplicaciones</b>	FTTH (Fiber to the Home), servicios de internet, voz y video

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.6.2. Elementos Pasivos

Son equipos que no necesitan energía eléctrica para su funcionamiento, y se encuentran entre el transmisor u OLT y receptor u ONT, a continuación, se detallara los equipos pasivos seleccionados para nuestra red FTTH.

#### 3.2.6.2.1. ODF (Distribuidores de fibra óptica)

Es un equipo utilizado en redes de fibra óptica para la organización, conexión y protección de cables de fibra óptica. Para el diseño de la red FTTH se utilizará ODF de la marca TYCO. La ilustración 3-41 muestra como es el ODF, mientras que la tabla 3-10 sus características.



**Ilustración 3-41:** Red de distribución zona VIII.

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

**Tabla 3-10:** Características ODF TYCO

Parámetro	Especificación
Número de puertos	12, 24, 36, 48, 72, 96
Tipo de conector / pulido	SC, FC, LC (APC, UPC)
Bandejas removibles	Si

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.6.2.2. Divisores de potencia o power splitters

Son dispositivos pasivos utilizados en redes de comunicaciones ópticas para dividir una señal de luz entrante en múltiples señales de salida. Estos dispositivos son fundamentales en sistemas de distribución de fibra óptica, como las redes FTTH (Fiber to the Home). La Tabla 3-11 muestra las pérdidas que provocan cada uno de los splitters según su relación.

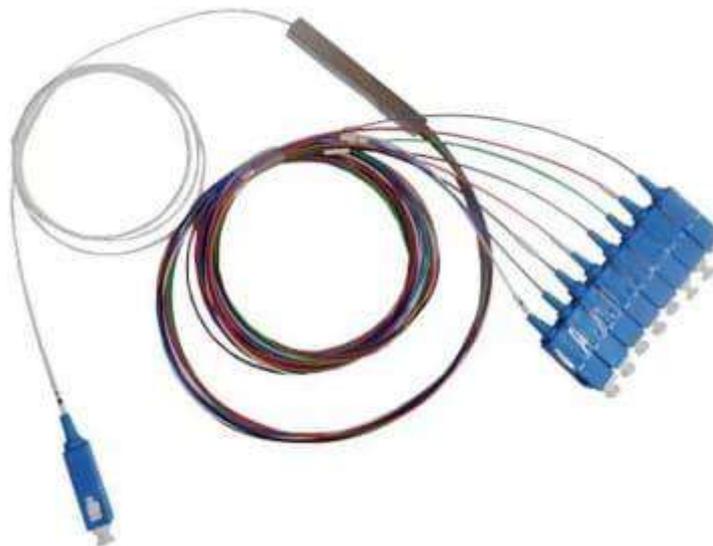
**Tabla 3-11:** Divisores de potencia

Nivel de división de potencia	Pérdidas (dB)
1:64	19.5
1:32	16.5
1:16	13.5
1:8	10.0
1:4	7.0
1:2	3.6

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Es recomendable utilizar splitters de no tanto niveles para tener un mejor despliegue de la red y un correcto mantenimiento. Para la red FTTH se ha utilizado se ha utilizado splitters de 1:8 en las mangas troncales y en las NAPs.

Por ello se ha seleccionado splitters de la marca Connection que presentan pérdidas de 10 y 13.5 dB respectivamente a continuación en la ilustración 3-42 se observa estos splitter.



**Ilustración 3-42:** Divisores de potencia 1x8

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.6.2.3. Mangas troncales

Las mangas troncales son una parte fundamental en la infraestructura de una red de telecomunicaciones. Son utilizadas para conectar diferentes segmentos de la red y asegurar una alta capacidad de transmisión de datos. Es aquí donde se almacenan los splitters de primer nivel posterior a realizar el sangrado de la red feeder, por lo general se instalan en los postes o ductos subterráneos. La manga propuesta será tipo Domo como indica la ilustración 3-43 y se detalla las características en la tabla 3-12.



**Ilustración 3-43:** Manga tipo domo

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

**Tabla 3-12:** Características Manga TW-Z302-288JF-C

<b>MODELO</b>	TW-Z302-288JF-C
<b>Dimensiones</b>	100 mm x 50 mm x 20 mm
<b>Tipo de Conector y pulido</b>	SC/APC
<b>Longitud de onda</b>	1310, 1490 y 1550
<b>Perdidas por inserción</b>	$\leq 10.5$ dB
<b>Perdidas de retorno</b>	$\geq 55$ dB

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.6.2.4. Cajas de distribución o NAPs

Consiste únicamente de una caja donde se almacenan los splitters de segundo nivel, por lo general se instalan en los postes o paredes de las casas. . Para el diseño realizado, se ha utilizado de la marca Connection con capacidad de 16 puertos y con disponibilidad para montaje con punta de fibra y para sangrado. En la ilustración 3-44 se observa la NAP seleccionada.



**Ilustración 3-44:** Red de distribución zona VIII.

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

#### 3.2.6.2.5. *Roseta óptica*

En el diseño de la red FTTH, la roseta óptica se coloca en el interior de la vivienda para terminar el cable de fibra óptica que viene desde la calle. Desde la roseta, las fibras se conectan al equipo del usuario (ONT o router). La roseta propuesta es de marca OptyTECH. H. La Figura 3-45 muestra el modelo de la roseta óptica escogida.



**Ilustración 3-45:** Red de distribución zona VIII.

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

### 3.2.6.2.6. Fibra óptica

A diferencia de los elementos pasivos mencionados previamente, el cable de fibra óptica debe cumplir con una variedad de parámetros específicos que están detallados en el estándar ITU G.65X. Estos parámetros son cruciales para asegurar el rendimiento y la fiabilidad de la fibra óptica en aplicaciones de telecomunicaciones. A continuación, se describen en detalle las características de la fibra óptica según los requerimientos de la red FTTH.

Para la red de feeder y distribución, sus características se encuentran en el estándar UIT-T G.652 las cuales expresan que sin fibras monomodo. La Tabla 3-13 muestra los parámetros más importantes:

**Tabla 3-13:** Características cable fibra óptica

Parámetro	G.652
Coefficiente de dispersión	17
Longitud	20 km
Ancho espectral de la fuente	0.2 nm
Dispersión cromática	0,068[ns]
Ancho de banda	7,352 Gbps

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Dado que se está diseñando una red FTTH con tecnología G-PON, que ofrece un ancho de banda de 2.4 Gbps, la fibra óptica más recomendada para la red feeder es la G.652.

Para la red de distribución sus características se encuentran en el estándar UIT-T G.657. Esta fibra es la más manipulada de las anteriores, debido a que es el tramo que se conecta hacia la roseta de cada usuario además de proporcionar un fácil manejo de instalación.

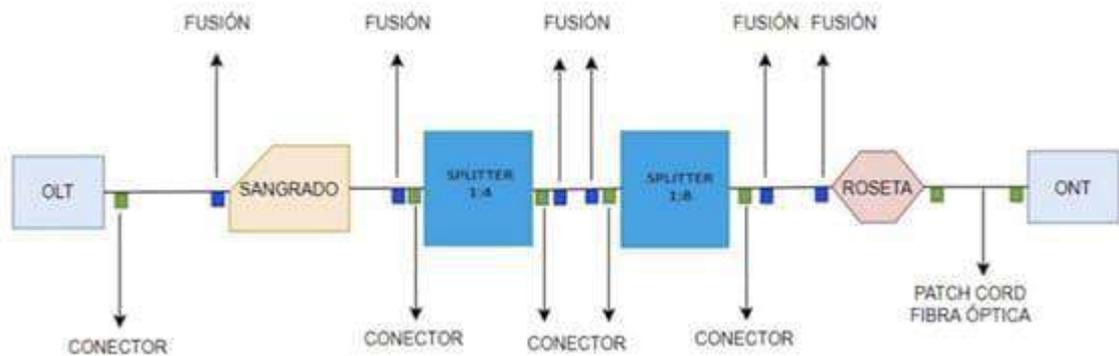
### 3.3. Presupuesto de enlace

Dado que la red FTTH incluye tanto equipos activos como pasivos, los componentes pasivos provocan una disminución en la potencia del transmisor cada vez que atraviesa uno de estos elementos, introduciendo así pérdidas.

El análisis del presupuesto óptico se utiliza para evaluar la magnitud de la pérdida total introducida en la red, determinando si se sitúa dentro de los límites aceptables de atenuación. En caso contrario, se deben realizar ajustes apropiados como cambiar los divisores de potencia,

splitters o conectores, mejorar las fusiones de fibra, incrementar la potencia del transmisor, entre otras medidas.

La Figura 3-46 ilustra la red FTTH G-PON, que muestra en forma de bloques todos los componentes activos o pasivos presentes entre el transmisor y cada usuario o cliente. Observamos que en la comunicación se ubican dos niveles de división de potencia, o splitters, que se conectan a la fibra óptica mediante un conector y una fusión en cada extremo. Además, hay una fusión proveniente de la red feeder conocida como sangrado. Esta técnica consiste únicamente en extraer los hilos necesarios de los buffers de fibra óptica para proporcionar cobertura a la zona. Finalmente, hay una fusión con la roseta óptica, que se conecta al patchcord del equipo receptor.



**Ilustración 3-46:** Red FTTH G-PON.

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

De acuerdo con la normativa ITU-T G.984.2, el margen de guarda a considerar en los diseños de red GPON es de 3 dB. Además, la atenuación máxima de la red de distribución óptica no debe superar los 28 dB, ya que se deben tener en cuenta futuros trabajos en el tendido de la red y posibles variaciones en las atenuaciones de las ODN.

La Tabla 3-14 muestra de manera resumida, todos los elementos pasivos que provocan pérdidas con sus respectivas cantidades.

**Tabla 3-14:** Atenuación de elementos pasivos

Elemento pasivo de la red		Atenuación (dB)
Conectores		0.4 dB
Fusiones		0.1 dB
Splitters	1:8	10 dB
	1:16	
Fibra óptica	1310nm	0.4 dB/km
Margen de guarda		3 dB
Patchcord		0.2 dB

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

En base a los parámetros de la Tabla 16-3 se utiliza la siguiente fórmula para calcular las pérdidas totales de un usuario, para cada zona.

$$A_t = A_f + L_c + L_e + A_{sp1} + A_{sp2} + M_s$$

Donde:

$A_t$  = Atenuación total

$A_f$  = Atenuación de fibra

$L_c$  = Pérdida total de conectores

$L_e$  = Pérdida total de empalmes

$A_{sp1}$  = Atenuación splitter de 1er nivel

$A_{sp2}$  = Atenuación splitter de 2do nivel

$M_s$  = Margen de seguridad

Para los cálculos, se sigue la recomendación de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), que sugiere reservar 30 metros de fibra óptica por cada 500 metros para futuros mantenimientos.

### 3.3.1. Cálculo del usuario más cercano

Partiendo del modelo masivos/casas establecido por la normativa de CNT, se dispuso un total de 5 conectores, 6 fusiones, un splitter primario de 1:4 y un secundario de 1:8 que se utilizó en el diseño. El usuario más cercano se encuentra en la zona 6, a una distancia de 0,25 km de la OLT.

$$A_t = \left(0.25km * \frac{0.40 dB}{km}\right) + (5 * 0.2 dB) + (6 * 0.1 dB) + 7.1 dB + 10.5 dB + 3 dB \quad \text{Ecuación 3-3}$$

$$A_t = 22.3 dB$$

### 3.3.2. Cálculo del usuario más lejano

El usuario más lejano se encuentra en la zona 4 se encuentra a una distancia de 5.1 km de la OLT, adicionalmente se le debe incluir los 300 metros se reserva, por lo que la distancia total es de 5.4 km.

$$A_t = \left(5.4 km * \frac{0.40 dB}{km}\right) + (5 * 0.4 dB) + (6 * 0.1 dB) + 7.1 dB + 10.5 dB + 3 dB \quad \text{Ecuación 3-4}$$

3-4

$$A_t = 25.36 \text{ dB}$$

### 3.3.3. Balance óptico de potencia

A continuación, se verifica si la potencia recibida en el equipo de cada usuario es mayor que la sensibilidad del receptor. De acuerdo con la recomendación ITU-T G.987.2, la sensibilidad del receptor al utilizar debe ser de -28 dBm, por lo tanto, cada fabricante debe adherirse a esta norma, y la potencia del transmisor debe estar entre +4 dBm y +8 dBm. Para los cálculos se utiliza 5 dBm como potencia del transmisor.

La ecuación, se utilizará para el cálculo del balance de potencia para el usuario más lejano como para el más cercano.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - \alpha_{Total} + M_s \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Donde:

$P_{Rx}$  = Sensibilidad del equipo receptor

$P_{Tx}$  = Potencia del transmisor

$\alpha_{Total}$  = Pérdida total de conectores

#### 3.3.3.1. Balance de potencia del usuario más cercano

Para el cálculo del balance óptico de potencia se reemplaza el valor total de pérdidas del usuario más cercano y la potencia máxima del transmisor óptico.

$$\begin{aligned} -28 \text{ dBm} &\leq 5 \text{ dBm} - 22.3 \text{ dB} - 3 \text{ dBm} && \text{Ecuación 3-6} \\ -28 \text{ dBm} &\leq -20.3 \text{ dBm} \end{aligned}$$

#### 3.3.3.2. Balance de potencia del usuario más lejano

Para el cálculo del balance óptico de potencia se reemplaza el valor total de pérdidas del usuario más cercano y la potencia máxima del transmisor óptico.

$$\begin{aligned} -28 \text{ dBm} &\leq 5 \text{ dBm} - 25.36 \text{ dB} - 3 \text{ dBm} && \text{Ecuación 3-7} \\ -28 \text{ dBm} &\leq -23.36 \text{ dBm} \end{aligned}$$

En resumen, la potencia de recepción de cualquier usuario de la parroquia Lizarzaburu se encontrará entre -18.3 dB a -20.36 dBm y dado que la sensibilidad del receptor es de -28 dBm, se concluye todos los usuarios de todas las zonas tendrán servicio.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se realizó la simulación de la red FTTH previamente diseñada utilizando el software OptiSystem. Este programa, desarrollado por una empresa, requiere la adquisición de una licencia para su instalación y uso. Sin embargo, ofrece una versión gratuita de treinta días, tiempo suficiente para llevar a cabo la simulación de la red.

#### 4.1. Simulación de la red GPON

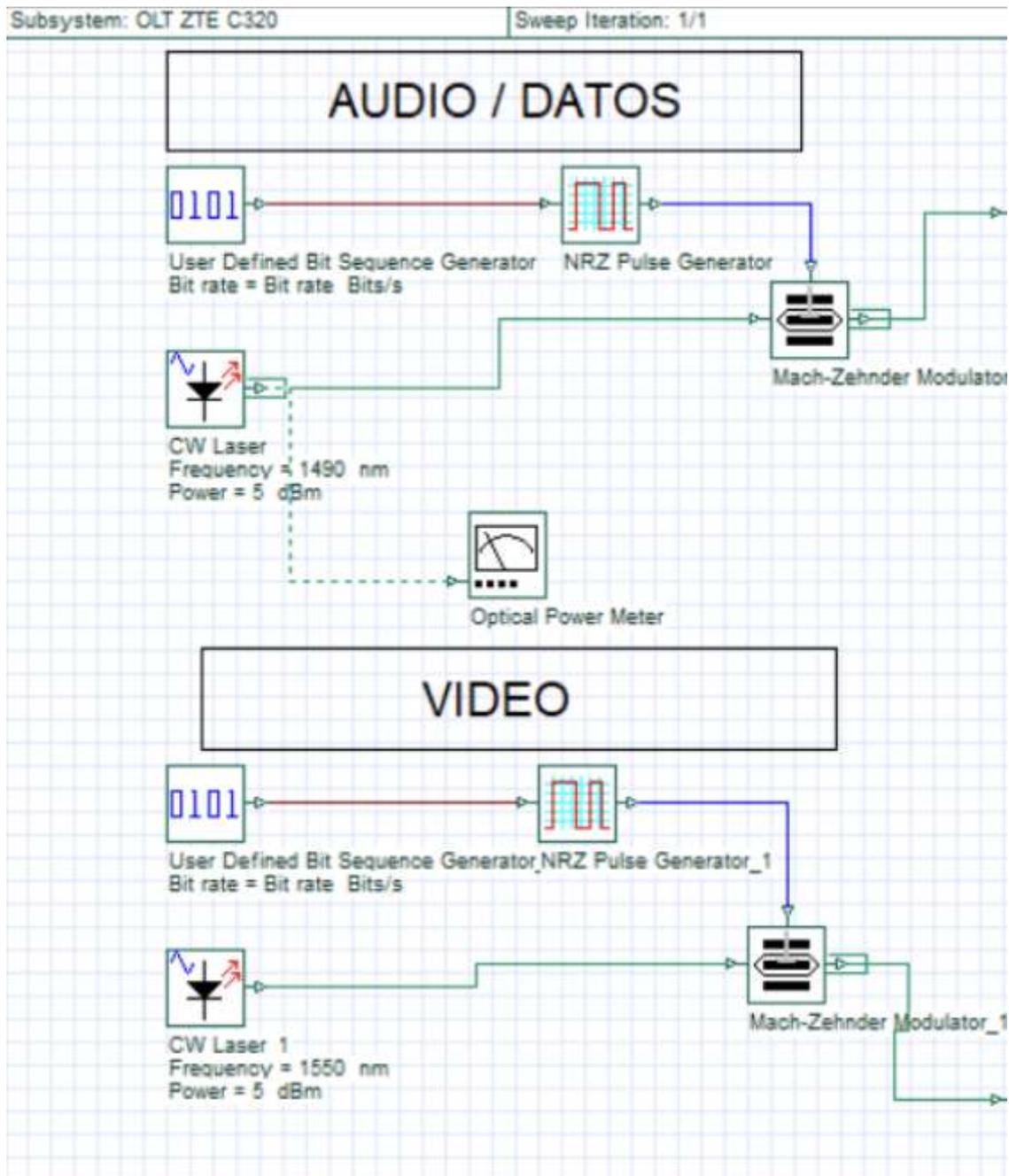
El diseño de la red FTTH está constituida por tres partes fundamentales: el terminal de línea óptica (OLT), la red de distribución óptica (ODN) y la unidad de red óptica (ONU) o nodo terminal óptico (ONT).

El entorno de simulación permite realizar una evaluación precisa de la eficiencia del servicio propuesto. Esto se logra verificando y comparando los resultados teóricos obtenidos a partir de los cálculos de atenuaciones y el balance de potencia realizados en el capítulo anterior. Además, se evalúan indicadores como la potencia, el factor de calidad Q y el BER de la señal recibida en las ONT de los usuarios más cercanos y más lejanos de cada zona.

##### 4.1.1. *Desarrollo de la simulación*

###### 4.1.1.1. *Descripción OLT*

El subsistema de transmisión óptica WDM descendente se segmenta en dos subsistemas: el transmisor de voz/datos y el de video como indica la ilustración 4-1. Esto se debe a que cada uno opera en diferentes longitudes de onda. El servicio de voz/datos utiliza una longitud de onda de 1577 nm, mientras que el de video opera a 1550 nm.



**Ilustración 4-1:** Transmisor óptico TX

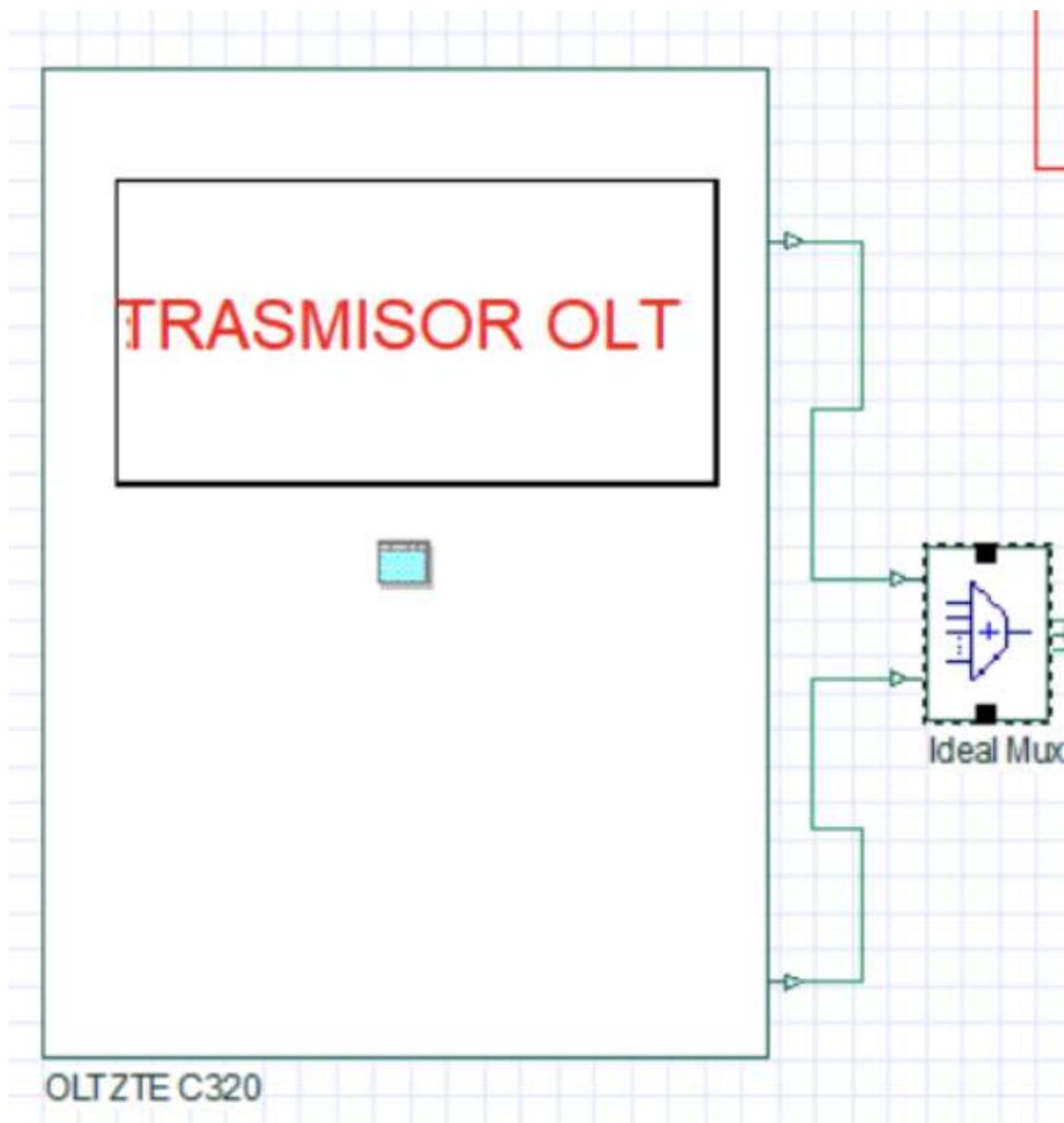
Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

A continuación, se describen los elementos que conforman cada uno de los subsistemas:

- ✓ **Generador de secuencia de bits:** Este componente permite crear una secuencia de bits que serán modulados y luego transmitidos a través de la fibra óptica hacia el receptor. Esta secuencia de bits simula a un usuario navegando por Internet, realizando una llamada codificada o viendo un servicio de videostreaming.

- ✓ **Codificador NRZ:** Este componente toma los bits generados por el generador de secuencia y los convierte en una señal eléctrica codificada en formato de no retorno a cero (NRZ).
- ✓ **Modulador Mach-Zehnder:** a este elemento llega la señal eléctrica del codificador NRZ y la modula con la frecuencia portadora óptica de la fuente CW láser.

Como se aprecia en la ilustración 4-2, es necesario implementar la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para que ambos servicios puedan transmitirse a través de la misma fibra óptica. Esto se debe a que cada servicio opera en una ventana de trabajo distinta. En Optisystem, esta configuración puede representarse mediante un multiplexor ideal.



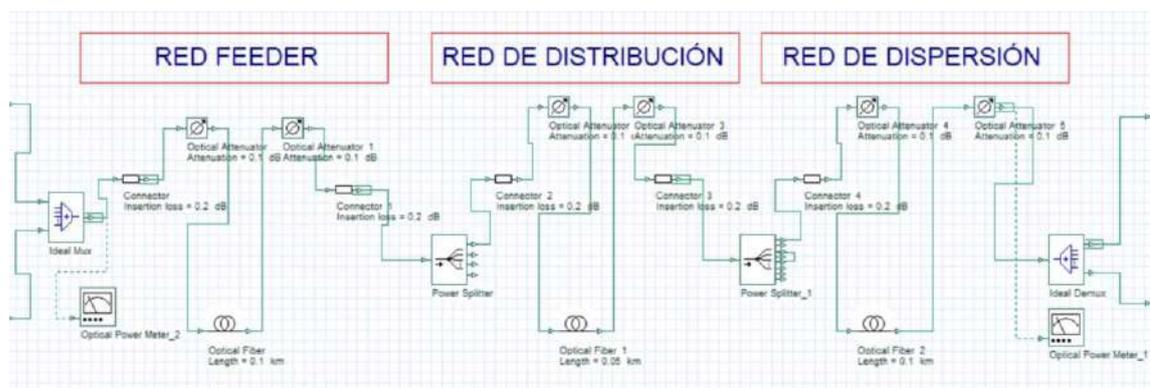
**Ilustración 4-2:** Multiplexación por división de longitud de onda (WDM)

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

#### 4.1.1.2. Descripción de la ODN

La ODN está formada por todos los componentes pasivos presentes en la red de Fibra Óptica hasta el Hogar (FTTH). En la ilustración 4-3 se presentan todos los dispositivos que se están utilizando en el diseño de red. Podemos notar claramente que la red de fibra óptica FTTH se compone de tres partes distintas, que son la red de feeder, la red de distribución y la red de dispersión, utilizando la fibra óptica como el principal medio de transmisión de datos.

Para el diseño de la red se estableció dos niveles de splitteo, el primero, un splitter de 1:4 con atenuación de 7,1 dB y el segundo, de 1:8 con atenuación de 10,5 dB. Para la simulación se está usando fibra óptica bajo el estándar G.652, el cual provoca pérdidas de 0.4 dB/Km.

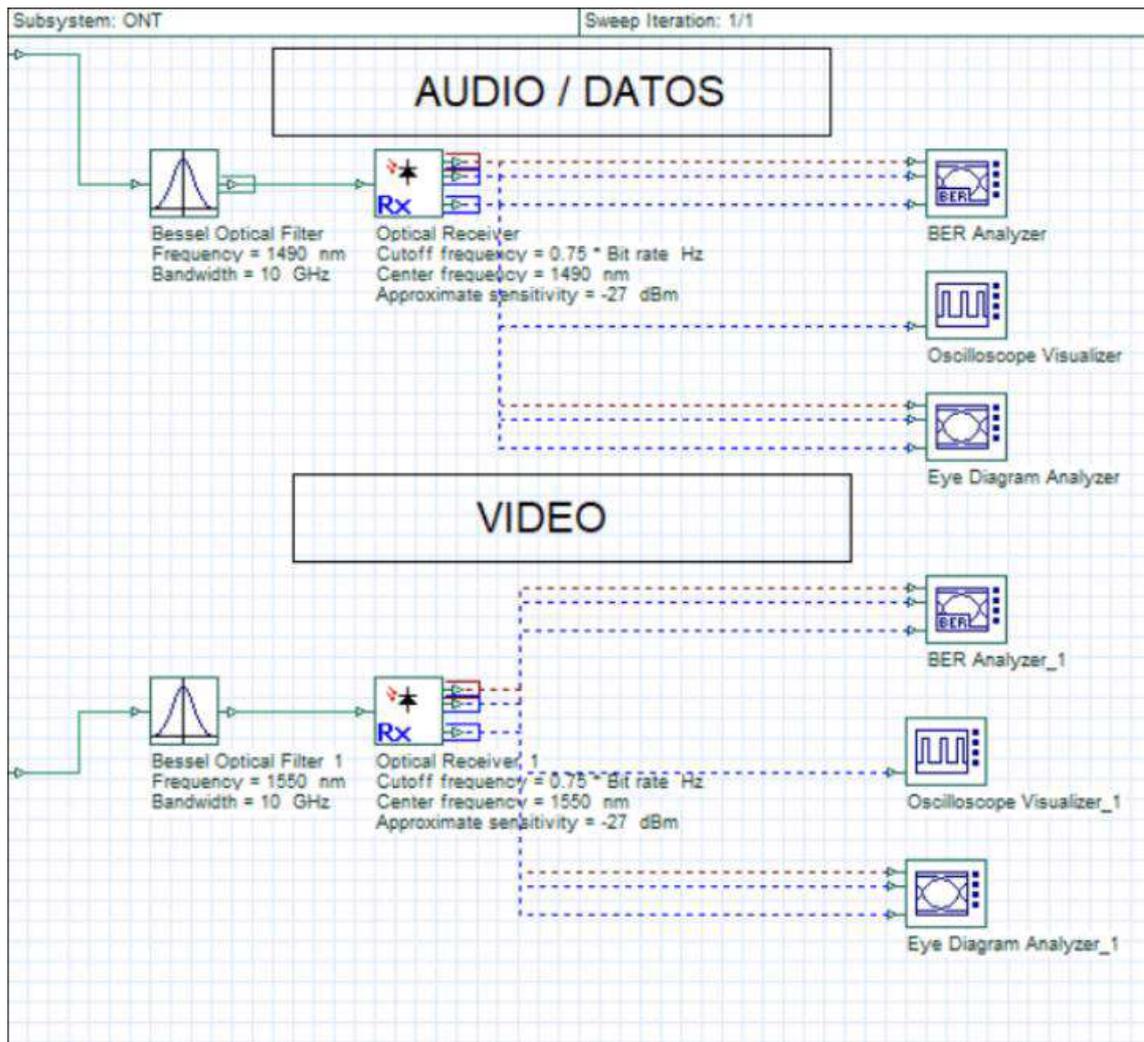


**Ilustración 4-3:** Red ODN

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

#### 4.1.1.3. Descripción de la ONU/ONT

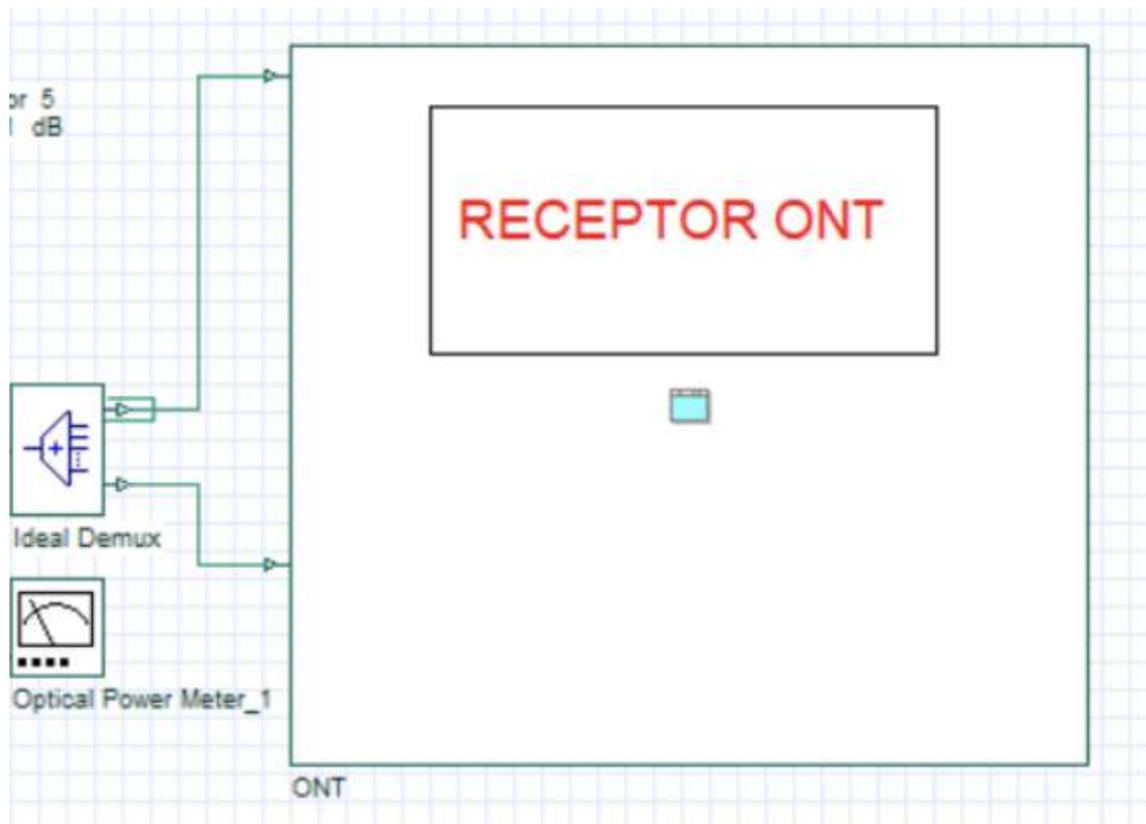
El subsistema de recepción óptico WDM descendente se divide en 2 subsistemas, que corresponde al receptor de voz/datos y video, ya que cada uno trabaja a una longitud de onda distinta. La Figura 4-4 se observa cada uno de estos subsistemas de la ONT.



**Ilustración 4-4:** Recepción óptico Rx

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

Como podemos observar, como en la misma fibra óptica se transmiten todos los servicios, es necesario realizar la demultiplexación por división de longitud de onda (DWDM) para poder separarlos, debido a que cada uno opera en una ventana de trabajo diferente, en el Optisystem se lo puede representar mediante un demultiplexor ideal.



**Ilustración 4-5:** Demultiplexación por división de longitud de onda (DWDM)

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

## 4.2. Evaluación de resultados

Se evaluó el funcionamiento de la red GPON siguiendo los parámetros de calidad establecidos en la norma ITU-T G.984. Utilizando las distintas herramientas ofrecidas por el software, se examinaron ciertos aspectos en la ONT. Se midió la potencia recibida en el equipo con el Optical Power Meter, se analizó el factor de calidad Q y el BER en la señal recibida mediante el BER Analyzer, y se evaluó la calidad del enlace al observar el diagrama de ojo.

Para observar los resultados se utilizan las siguientes herramientas del software:

- ✓ **Optical Power Meter:** herramienta que permite al usuario medir la potencia de recepción en la ONT, además de las pérdidas.
- ✓ **Optical Time Domain Visualizer:** permite visualizar a la señal modulada en el dominio del tiempo.
- ✓ **Optical Spectrum Analyzer:** permite visualizar el espectro de la señal modulada y verificar la frecuencia portadora.
- ✓ **BER Analyzer:** es una herramienta que entrega los resultados de la calidad del enlace, como el factor de calidad Q, la probabilidad de error de bit BER y diagrama de ojo.

#### 4.2.1. Potencia

Se muestran los resultados de potencia del transmisor y receptor para usuarios cercanos y lejanos en de la parroquia Lizarzaburu obtenidos en la simulación además se realiza un análisis con los resultados obtenidos teóricamente.

##### 4.2.1.1. Potencia a la salida de la OLT

La ilustración 4-6 muestra a la herramienta Optical Power Meter entregando el resultado de la potencia del equipo transmisor. Como se puede observar, la OLT entrega a la fibra óptica una potencia de 5.541 dBm.



**Ilustración 4-6:** Potencia suministrada por la OLT.

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

##### 4.2.1.2. Potencia recibida por el usuario más cercano

Como lo dicho anterior capitulo el usuario más cercano de la parroquia Lizarzaburu, se encuentra en la zona 6, a una distancia de 0,25 km de la OLT. La ilustración 4-7 indica la potencia que recibe el usuario final según el software Optisystem.



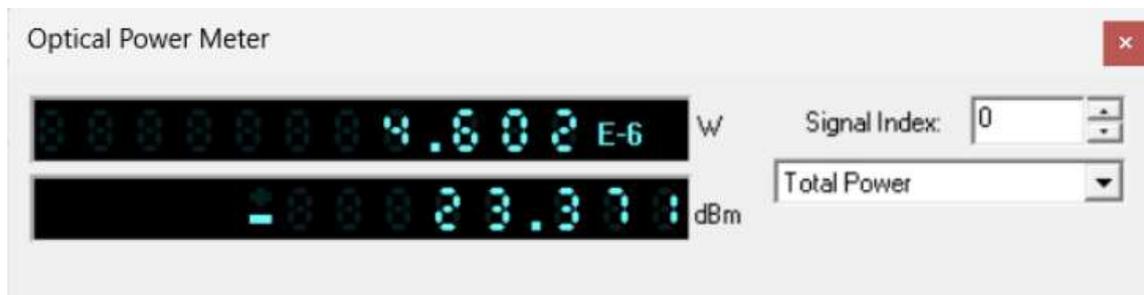
**Ilustración 4-7:** Potencia recibida a la ONT del usuario más cercano

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Se obtuvo un valor de simulación de -20,326 dBm, en comparación con el valor teórico calculado previamente de -20,3 dBm, lo que representa una diferencia de -0,026 dBm entre ambos valores. Esto garantiza un servicio de calidad para el cliente, ya que el valor de potencia obtenido está muy por debajo del nivel de sensibilidad de -28 dBm estipulado en la clase B+ de la recomendación ITU-T G.984.2.

#### 4.2.1.3. Potencia recibida por el usuario más lejano

Como lo dicho anterior capítulo el usuario más lejano de la parroquia Lizarzaburu, se encuentra en la zona 4, a una distancia de 5.4 km de la OLT. La ilustración 4-8 indica la potencia que recibe el usuario final según el software Optisystem.



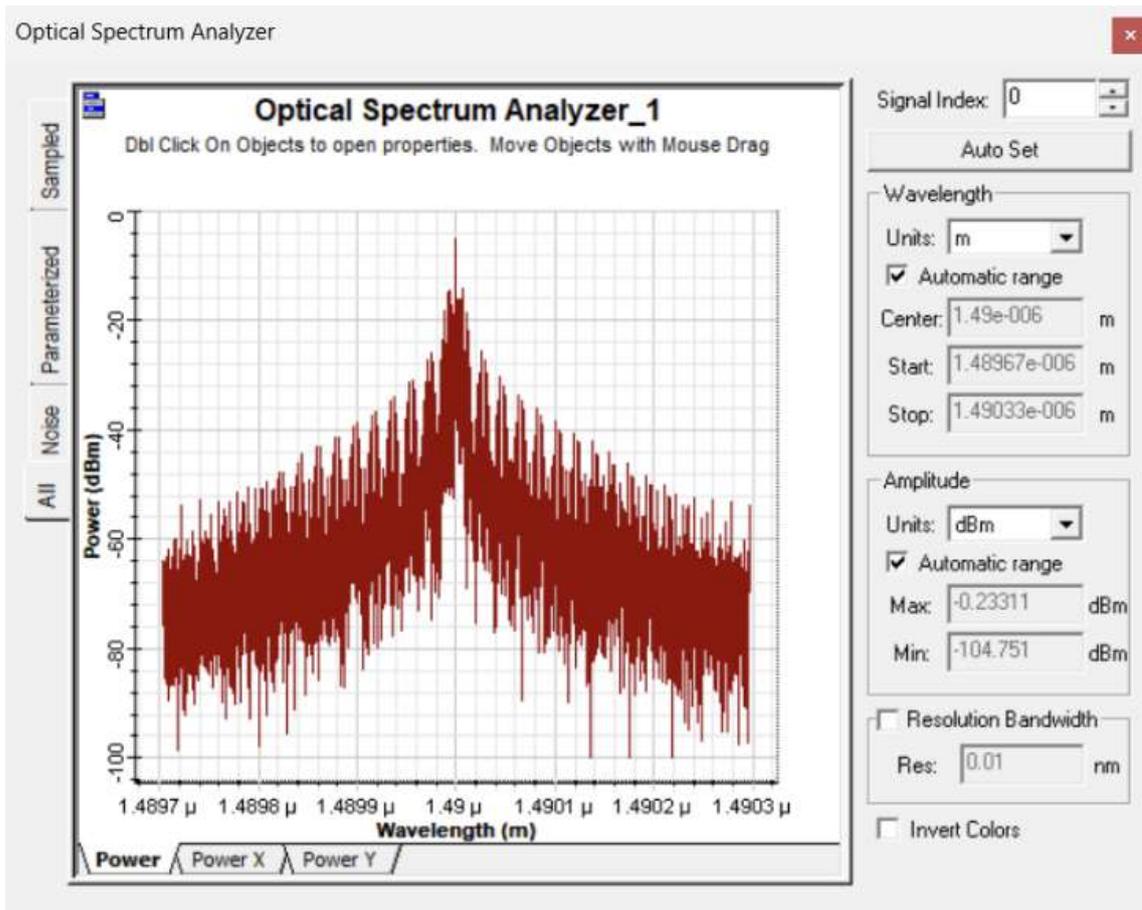
**Ilustración 4-8:** Potencia recibida a la ONT del usuario más lejano

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

Se obtuvo un valor de simulación de -23,371 dBm, en comparación con el valor teórico calculado previamente de -23,36 dBm, lo que representa una diferencia de -0,011 dBm entre ambos valores. Esto garantiza un servicio de calidad para el cliente, ya que el valor de potencia obtenido está muy por debajo del nivel de sensibilidad de -28 dBm estipulado en la clase B+ de la recomendación ITU-T G.984.2.

#### 4.2.2. Espectro de la señal

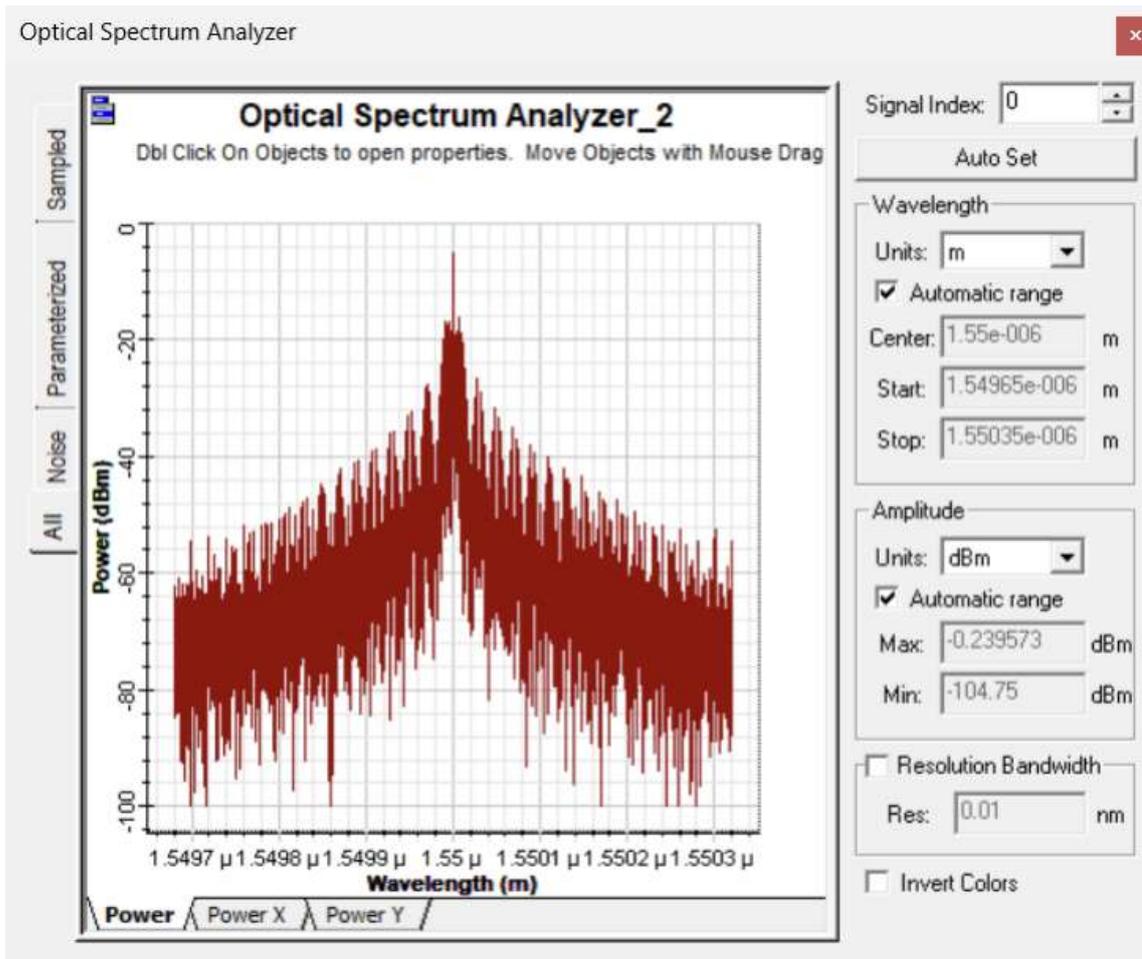
Utilizando un analizador de espectros, la ilustración 4-9 presenta el espectro de la señal de transmisión para audio y datos, los cuales se transfieren a una longitud de onda de 1490 nm. Los espectros generados alrededor se consideran como ruido y serán eliminados por el filtro de Bessel situado en el receptor.



**Ilustración 4-9:** Espectro de la señal de transmisión para audio y datos

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

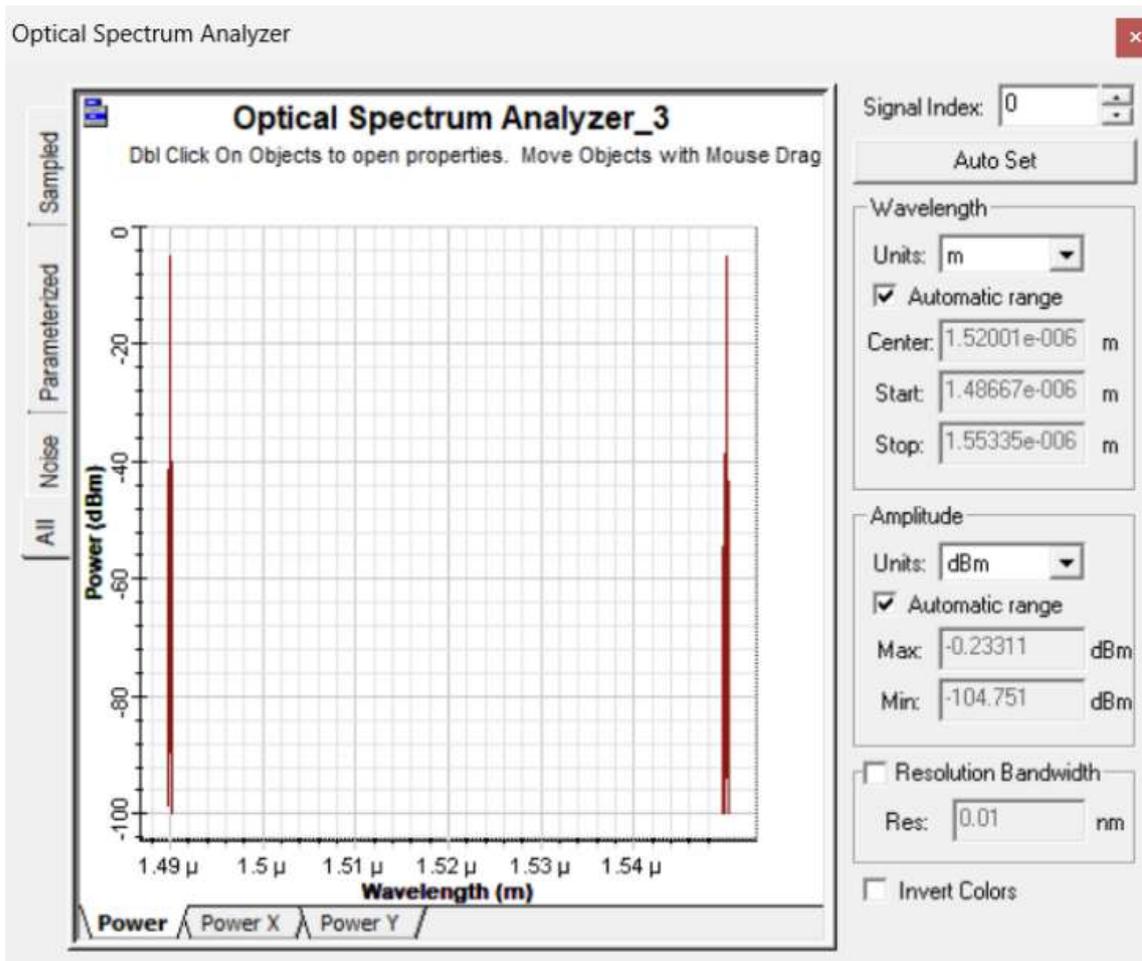
La Ilustración 4-10 indica el espectro de la señal de transmisión para video que genera la OLT, a una longitud de onda de 1550 nm.



**Ilustración 4-10:** Espectro de la señal de transmisión para video

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

La Ilustración 4-11 muestra el espectro de la señal a la salida de la OLT, contiene las señales de audio, datos y video mediante un multiplexor y siendo transmitidas a sus respectivas longitudes de onda simultáneamente.



**Ilustración 4-11:** Espectro de la señal a la salida de la OLT

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

#### 4.2.3. Factor de calidad $Q$ y BER (Bit error ratio)

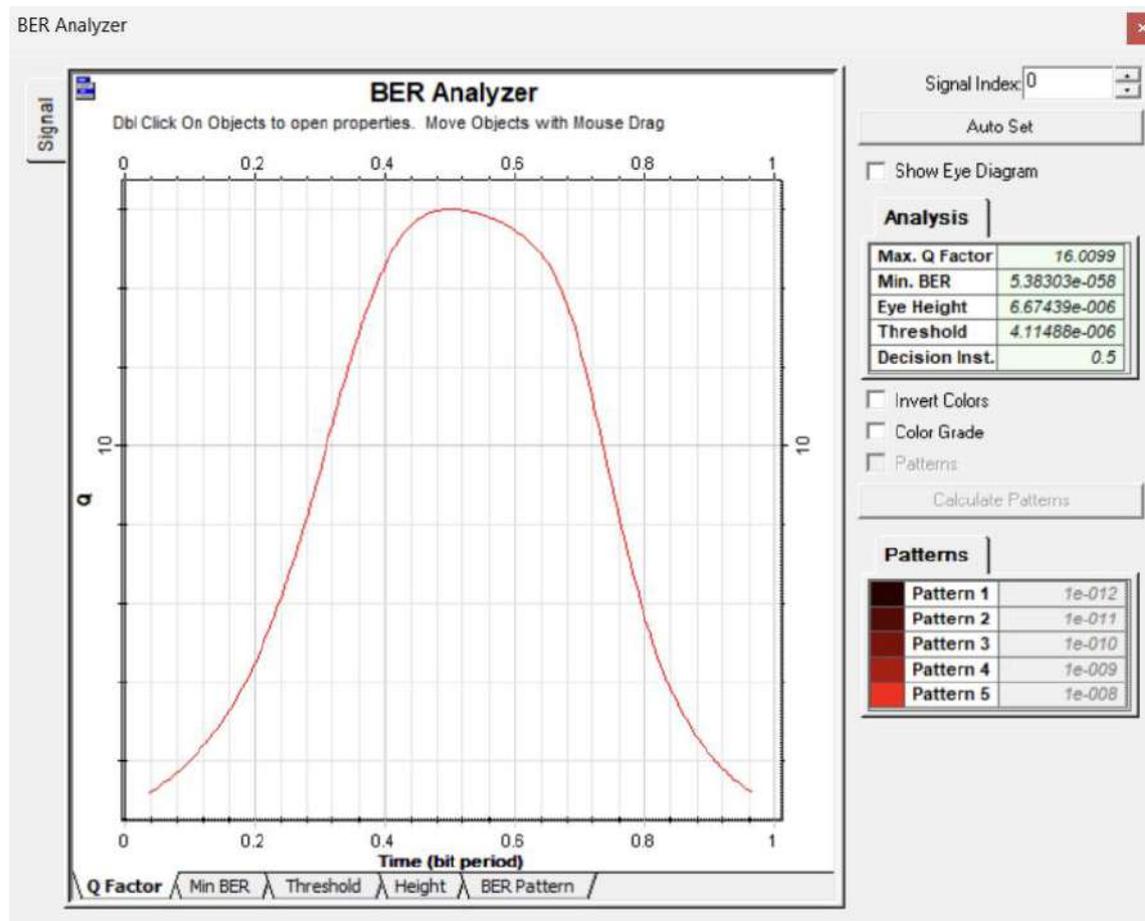
A continuación, se presentan los resultados referentes a los parámetros de factor de calidad y probabilidad de error de bit del enlace, tanto para el usuario más lejano y cercano de toda la parroquia Lizarzaburu, para esto se utiliza la herramienta BER Analyzer del software.

La recomendación ITU-T G.984.2 establece que el factor de calidad mínimo para la red GPON debe ser igual o mayor a 6 y el BER debe ser menor a  $1 * 10^{-10}$  para audio/datos y  $1 * 10^{-12}$  para video.

##### 4.2.3.1. Usuario más cercano

La ilustración 4-12 se observa los resultados referentes a los parámetros de calidad de servicio del receptor de audio/datos. Donde indica que el factor de calidad máximo del sistema es de 16.009, el cual significa una inferior cantidad de pérdidas por atenuación o dispersión respecto a

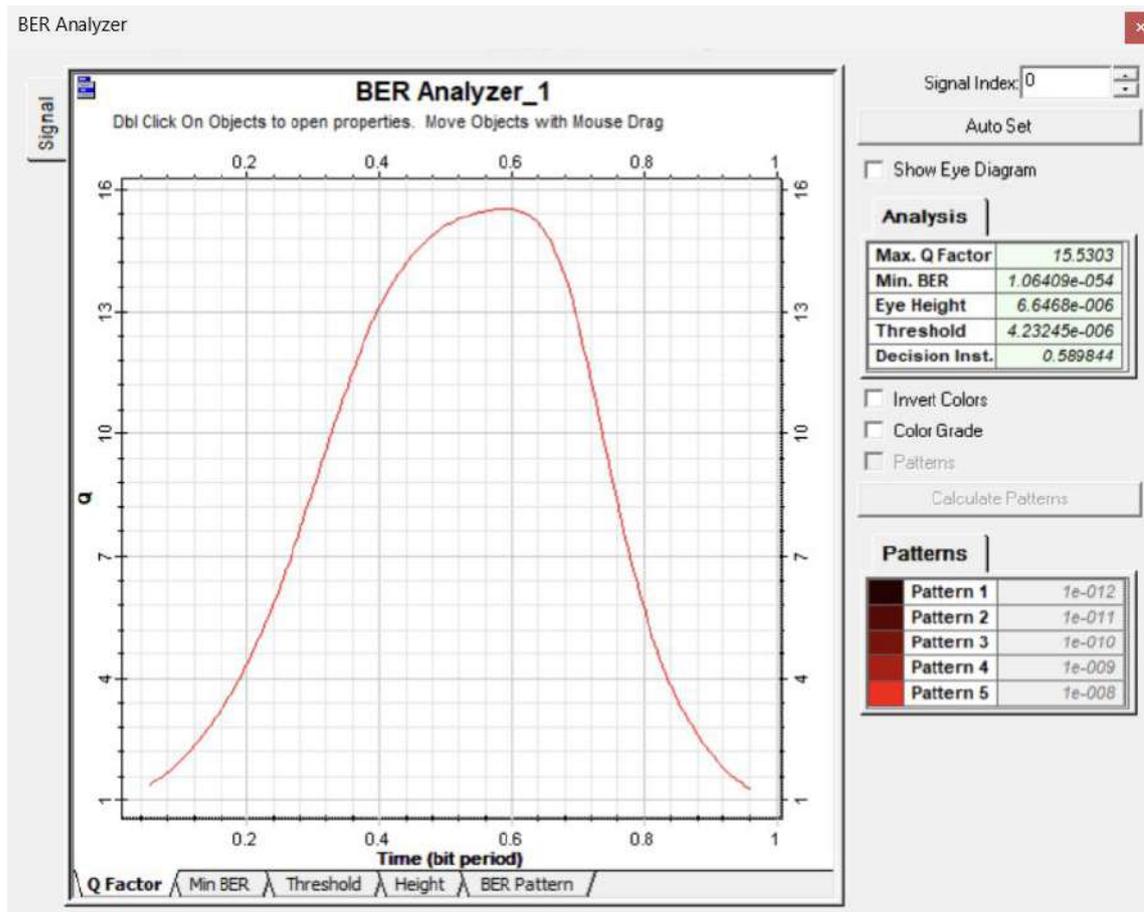
la potencia suministrada por la OLT, mientras que el mínimo BER es de  $5.383 \times 10^{-58}$ , es decir que se puede esperar 5 bits erróneos por cada  $1 \times 10^{-58}$  bits transmitidos.



**Ilustración 4-12:** Factor Q y BER del receptor de audio/datos del usuario más cercano

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

La ilustración 4-13 se observa los resultados referentes a los parámetros de calidad de servicio del receptor de video. Donde indica que el factor de calidad máximo del sistema es de 15.5303, el cual significa una inferior cantidad de pérdidas por atenuación o dispersión respecto a la potencia suministrada por la OLT, mientras que el mínimo BER es de  $1.064 \times 10^{-54}$ , es decir que se puede esperar 1 bits erróneos por cada  $1 \times 10^{-54}$  bits transmitidos.

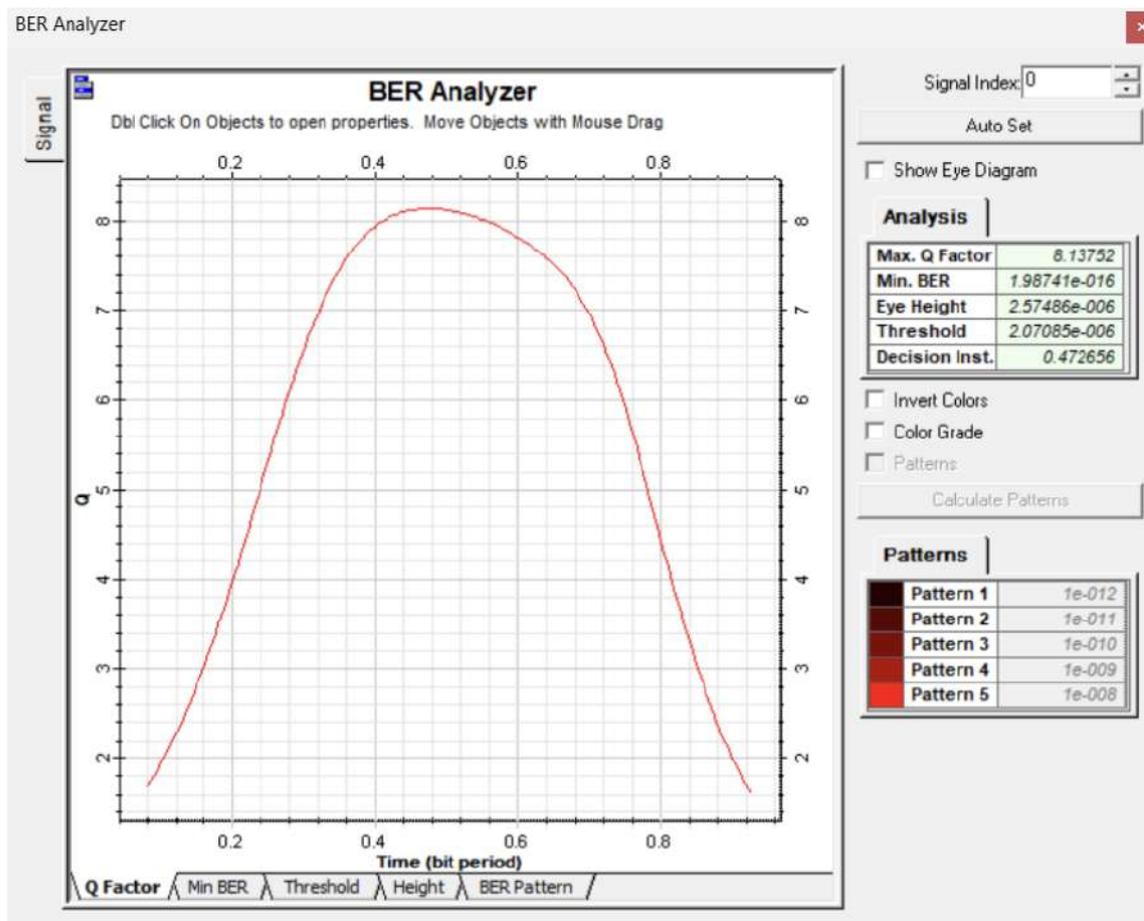


**Ilustración 4-13:** Factor Q y BER del receptor de video del usuario más cercano

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

#### 4.2.3.2. Usuario más lejano

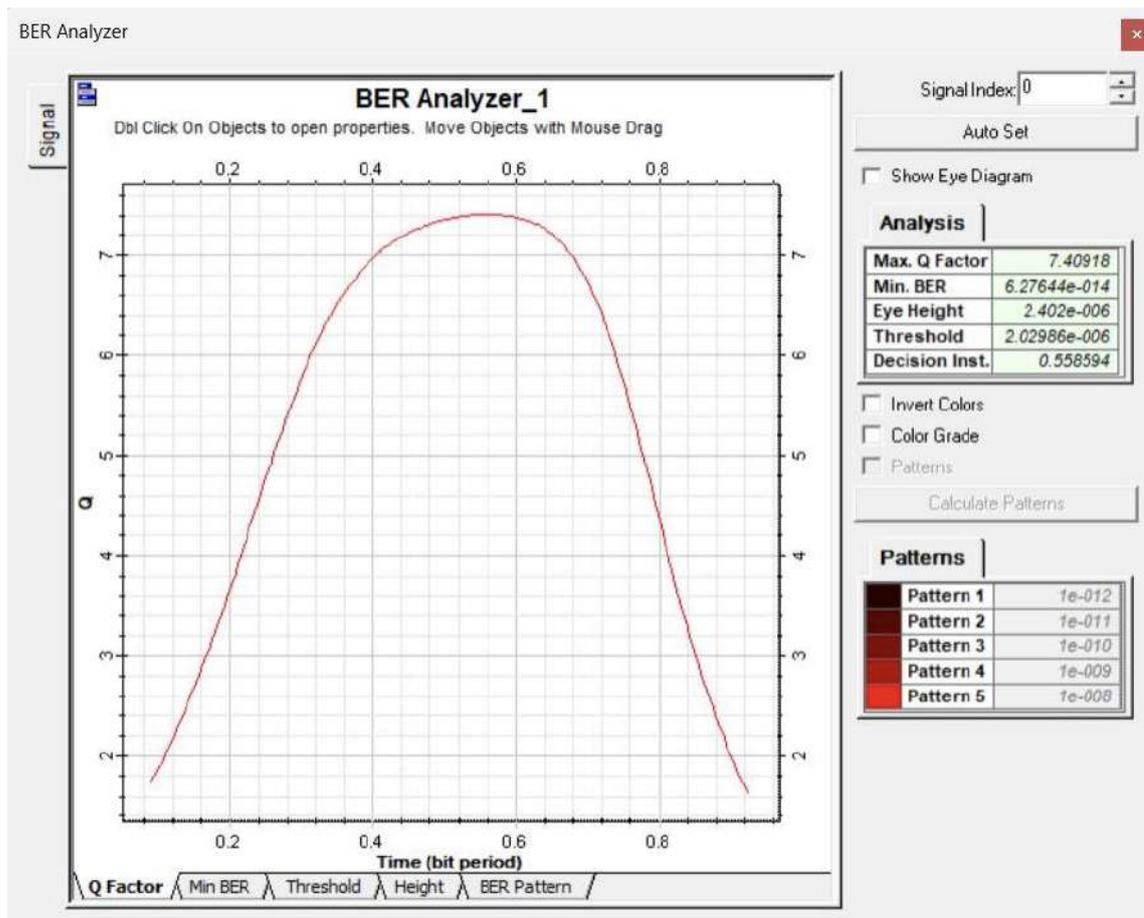
La ilustración 4-14 se observa los resultados referentes a los parámetros de calidad de servicio del receptor de audio/datos. Donde indica que el factor de calidad máximo del sistema es de 8.13752, el cual significa una inferior cantidad de pérdidas por atenuación o dispersión respecto a la potencia suministrada por la OLT, mientras que el mínimo BER es de  $1.987 * 10^{-16}$ , es decir que se puede esperar 1 bits erróneos por cada  $1 * 10^{-16}$  bits transmitidos.



**Ilustración 4-14:** Factor Q y BER del receptor de audio/datos del usuario más lejano

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

La ilustración 4-15 se observa los resultados referentes a los parámetros de calidad de servicio del receptor de video. Donde indica que el factor de calidad máximo del sistema es de 7.40918, el cual significa una inferior cantidad de pérdidas por atenuación o dispersión respecto a la potencia suministrada por la OLT, mientras que el mínimo BER es de  $6.276 \times 10^{-14}$ , es decir que se puede esperar 6 bits erróneos por cada  $1 \times 10^{-14}$  bits transmitidos.



**Ilustración 4-15:** Factor Q y BER del receptor de video del usuario más lejano

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

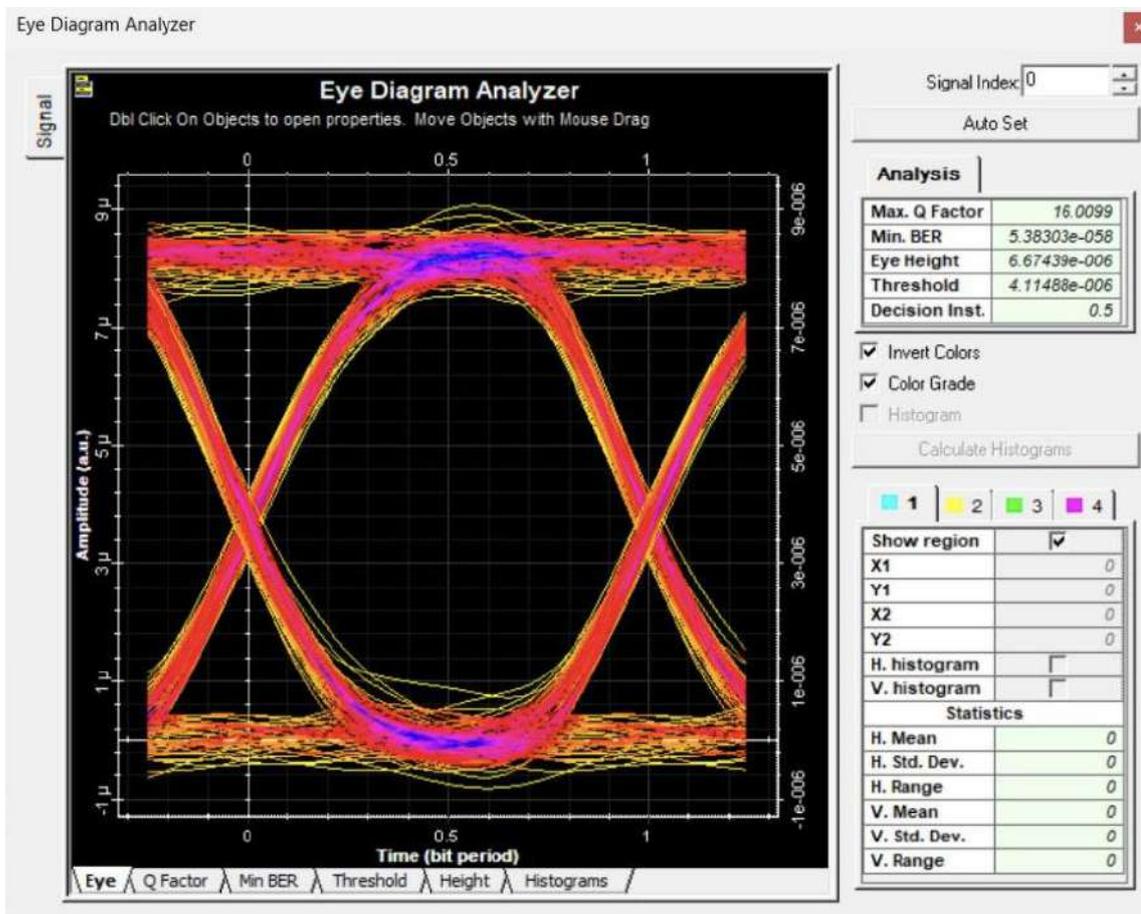
#### 4.2.4. Diagrama de ojo

A continuación, se muestran los resultados del diagrama de ojo del enlace para el usuario más lejano y el más cercano de toda la parroquia Lizarzaburu, utilizando la herramienta Eye Diagram Analyzer del software. Como se discutió anteriormente, el diagrama de ojo permite evaluar la calidad del enlace, representando de manera combinada la transmisión de unos y ceros en un intervalo de tiempo determinado.

El eje X representa el tiempo de apertura-cierre del ojo y el eje Y simboliza la amplitud de la señal, es importante señalar que entre más grande sea la apertura del ojo se tendrá un mejor desempeño del sistema, al contrario, si la apertura es pequeña, significa que existen problemas en su funcionamiento.

#### 4.2.4.1. Usuario más cercano

El usuario más cercano de la parroquia Lizarzaburu, se encuentra en la zona 6, a una distancia de 0,25 km de la OLT. La ilustración 4-16 se observa el diagrama de ojo del receptor de audio/datos. Los resultados de la simulación indican que el factor de calidad máximo del sistema es de 16.0099, mientras que el mínimo BER es de  $5.383 \times 10^{-58}$ , es decir que se puede esperar 5 bits erróneos por cada  $1 \times 10^{-58}$  bits transmitidos. La altura del ojo es de  $6.674 \times 10^{-6}$ , el cual confirma que los bits se están transmitiendo sin ninguna interferencia, además que los cruces de los pulsos se dan exactamente entre 0 y 1, por lo que el jitter es nulo.

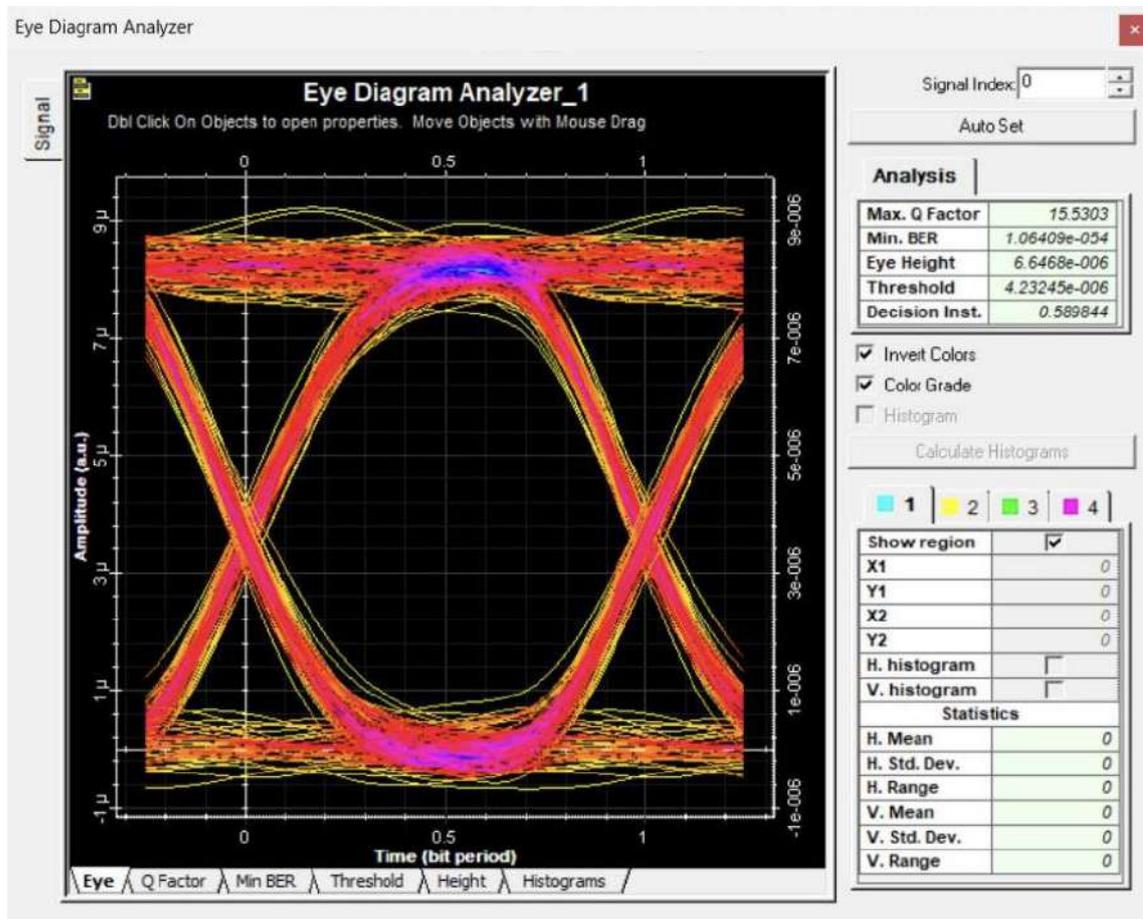


**Ilustración 4-16:** Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más cercano

**Realizado por:** Casa, Cristian. 2024.

La ilustración 4-17 se observa el diagrama de ojo del receptor de video. Los resultados de la simulación indican que el factor de calidad máximo del sistema es de 15.5303, mientras que el mínimo BER es de  $1.064 \times 10^{-54}$ , es decir que se puede esperar 1 bits erróneos por cada  $1 \times 10^{-54}$  bits transmitidos. La altura del ojo es de  $6.646 \times 10^{-6}$ , el cual confirma que los bits se

están transmitiendo sin ninguna interferencia, además que los cruces de los pulsos se dan exactamente entre 0 y 1, por lo que el jitter es nulo.

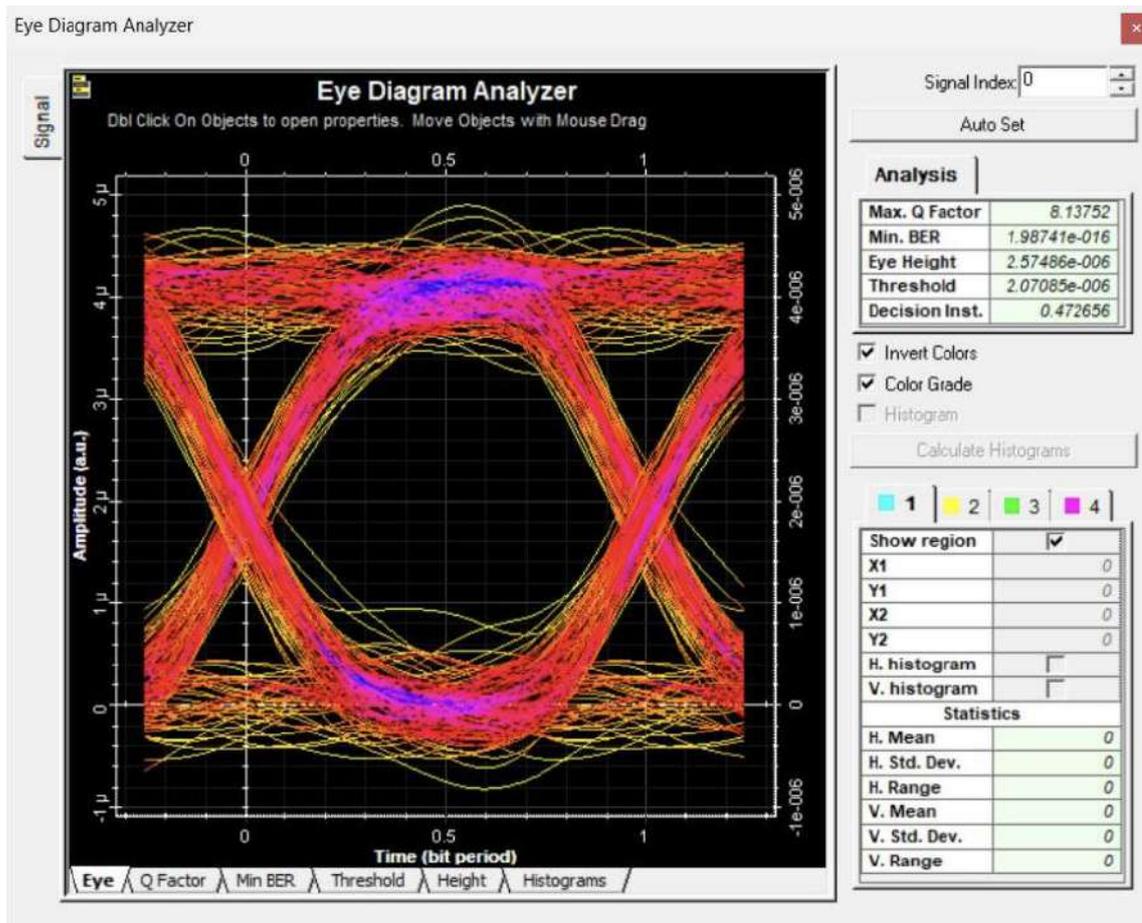


**Ilustración 4-17:** Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más cercano

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

#### 4.2.4.2. Usuario más lejano

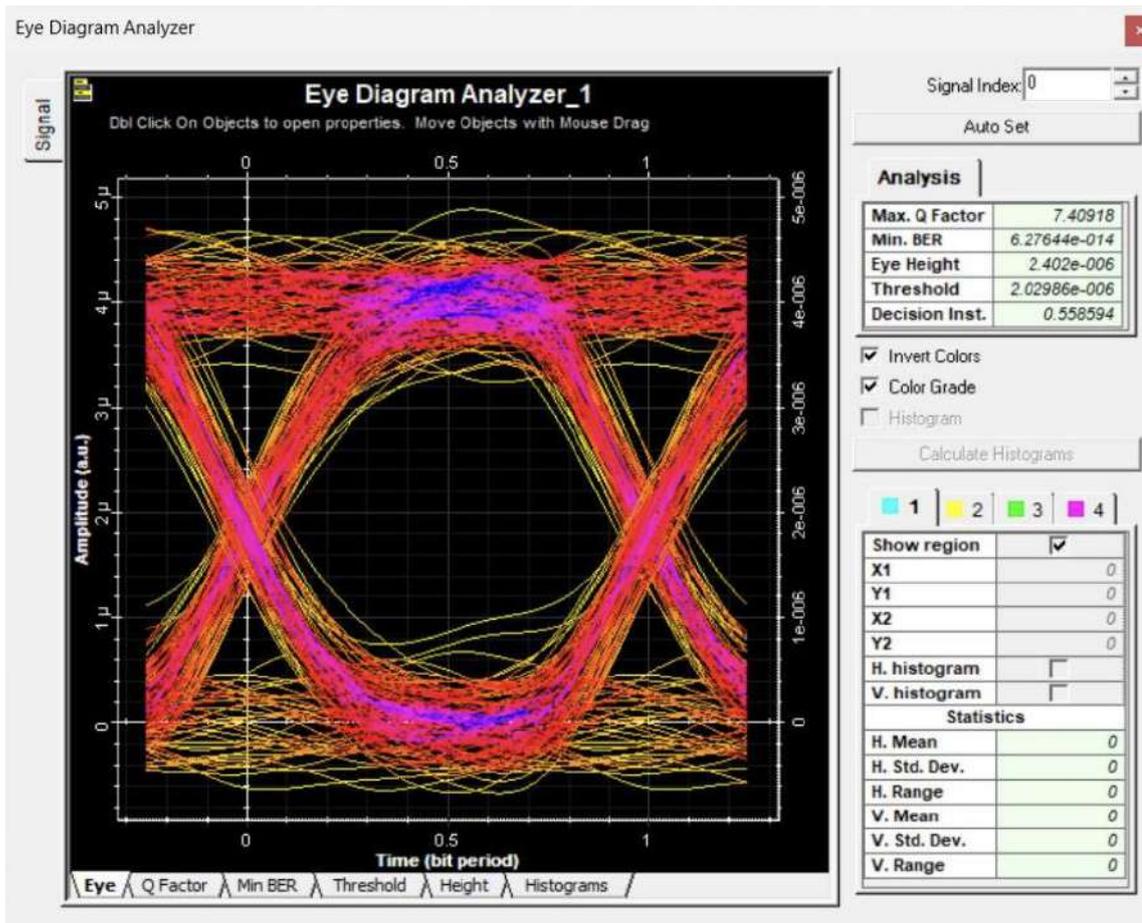
El usuario más lejano de la parroquia Lizarzaburu, se encuentra en la zona 4, a una distancia de 5.4 km de la OLT. La ilustración 4-18 se observa el diagrama de ojo del receptor de audio/datos. Los resultados de la simulación indican que el factor de calidad máximo del sistema es de 8.137, mientras que el mínimo BER es de  $1.987 \times 10^{-16}$ , es decir que se puede esperar 1 bits erróneos por cada  $1 \times 10^{-16}$  bits transmitidos. La altura del ojo es de  $2.574 \times 10^{-6}$ , el cual confirma que los bits se están transmitiendo sin ninguna interferencia, además que los cruces de los pulsos se dan exactamente entre 0 y 1, por lo que el jitter es nulo.



**Ilustración 4-18:** Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más lejano

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

La ilustración 4-19 se observa el diagrama de ojo del receptor de video. Los resultados de la simulación indican que el factor de calidad máximo del sistema es de 7.409, mientras que el mínimo BER es de  $6.276 \times 10^{-14}$ , es decir que se puede esperar 6 bits erróneos por cada  $1 \times 10^{-14}$  bits transmitidos. La altura del ojo es de  $2.402 \times 10^{-6}$ , el cual confirma que los bits se están transmitiendo sin ninguna interferencia, además que los cruces de los pulsos se dan exactamente entre 0 y 1, por lo que el jitter es nulo.



**Ilustración 4-19:** Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más lejano

Realizado por: Casa, Cristian. 2024.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

El estándar GPON asegura que la red diseñada soporte altas tasas de tráfico con velocidades asimétricas de 2,5 Gbps para downstream y 1,25 Gbps para upstream, sin exceder los 20 km de distancia en el modelo físico. Cada puerto puede manejar hasta 78,12 megas downstream y 39,06 megas upstream por usuario.

Se llevó a cabo un análisis de la demanda del servicio en la parroquia Lizarzaburu. Los resultados de las encuestas, compuestas por seis preguntas, revelaron usuarios experimentan problemas con la red actual, como velocidad y disponibilidad. Debido a esto, el 75% de los encuestados están interesados en contratar el servicio a través de un mismo medio de transmisión y están dispuestos a pagar un precio razonable por la calidad del servicio ofrecido y la conveniencia de pagar a un solo proveedor.

El diseño de la red propuesto tiene en cuenta la ubicación estratégica de las cajas de distribución y las mangas troncales para atender la demanda del mayor número posible de usuarios que requieren el servicio. Asimismo, las rutas de distribución se basan en una topología punto a multipunto, con el objetivo de abarcar la mayor área posible.

El cálculo del presupuesto óptico teórico del enlace se realizó para el usuario más cercano y el más lejano de toda la parroquia Lizarzaburu. Utilizando la misma arquitectura de red FTTH, el único parámetro modificado fue la distancia entre la OLT y la ONT. Por lo tanto, en el balance de potencias, el cliente más cercano tiene una potencia de recepción de -20.3 dBm y el más distante de -23.36 dBm, siendo estos resultados mayores que los -28 dBm de sensibilidad del receptor.

Se utilizó la versión gratuita del software Optisystem, logrando medir una potencia de recepción de -20.326 dBm para el usuario más cercano y -23.371 dBm para el más lejano, con una diferencia de -0.285 dBm, confirmando los resultados teóricos. En cuanto a los parámetros adicionales de calidad de servicio, se determinó que el mejor y peor factor de calidad fueron 16.01 y 7.409 respectivamente, cumpliendo favorablemente con lo establecido por el estándar.

## **5.2. Recomendaciones**

Es crucial estar bien informado sobre cada tema y consultar los estándares más recientes disponibles en la página oficial de la ITU relacionados con la familia G.984.x. Utilizar versiones desactualizadas podría perjudicar el diseño de una red óptima, generando posibles cambios significativos o retrasos en el proyecto.

Para asegurar un rendimiento óptimo de la red GPON, se debe limitar el diseño a un máximo de "dos niveles de splitteo". Aunque algunas compañías operan con tres niveles, esto no es recomendable debido a que la señal se atenúa, incrementando la pérdida de potencia y reduciendo la distancia de transmisión, lo que puede provocar una caída en el servicio.

Para la implementación de la red FTTH, se recomienda utilizar los equipos y materiales mencionados en este trabajo de titulación. Los cálculos se han realizado de acuerdo con estos equipos y materiales, por lo que usar otros diferentes podría alterar los valores al comprobar el funcionamiento.

Al realizar el diseño lógico de la red FTTH, ya sea utilizando el software ArcGIS o AutoCAD, es aconsejable solicitar la planimetría más actualizada disponible de los GAD Municipales de cada cantón. Esto ayuda a evitar contratiempos durante el diseño e implementación.

Dado el beneficio que ofrece este proyecto, se sugiere considerar la expansión de la red óptica y del área de cobertura del diseño hacia otros puntos estratégicos y relevantes para la empresa RIORED , como las áreas que rodean el casco urbano de la ciudad de Riobamba.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AGILA, Ricardo.** Diseño de una Red Gpon para el barrio “El Paraíso De Jipiro” del cantón Loja, Provincia de Loja, usando un Armario F01s300. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Loja-Ecuador, 2019. pág. 78.
2. **AGREDO, Javier, et. al.** *Efectos no lineales y su relación con los parámetros de transmisión de una red WDM.* 2012. págs. 23-35.
3. **ALBAN, Mauricio.** Metodología de diseño de redes de fibra Óptica. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Carrera de Ingeniería en Sistemas e Informática, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí. 2006. pág. 195.
4. **ALTERNATIVE SYSTEM INTEGRATION.** ASI. [En línea] 2024. [Citado el: 31 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://asi.mk/product/docsis-2-0/>.
5. **AVANINATHAN, SIVANANTHARAJA & MAHESWARAVENKATESH, P.** *A QoS-Aware Dynamic Bandwidth Allocation in PON Networks.* 2017. págs. 2499-2512.
6. **BALLON, Luis.** Propuesta de implementación de una red óptica con tecnología GPON para el mejoramiento de acceso a la banda ancha fija en la urbanización Los Cedros de Villa Chorrillos-Lima Sur, 2019. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Facultad de Ingeniería y Gestión, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Villa El Salvador , 2019. pág. 120.
7. **BIANCHI, Alberto, et. al.** *Optical Components for Transport Network Enabling The Path to 6G.* 2022. págs. 527-537.
8. **BRÖCKER, Jochen, CHARLTON, Andrew & WEISHEIMER, Antje.** *A statistical perspective on the signal-to-noise paradox.* 2023. págs. 911-923.
9. **CANDO, Jorge & PALLO, Juan.** Sistema de gestión de servicios de internet de la red de acceso fijo de CNT EP del cantón Ambato. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial , Universidad Técnica de Ambato. Ambato , 2021. pág. 174.
10. **CANDO, Patricio & GUAMÁN, Castro.** Módulo experimental de laboratorio para detectar fallos en enlaces de fibra óptica monomodo por reflectometría óptica en el dominio del tiempo, a través de un OTDR. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Carrera de Ingeniería en Electrónica Digital y Telecomunicaciones, Universidad Israel. Quito , 2020. pág. 175.
11. **CÁRDENAS, Leticia & ZAMBRANO, Jose.** *Nuevas Tendencias DOCSIS en Ecuador.* 2021. págs. 149-161.
12. **CHAN, Adrián.** Fibra óptica: evolución, estándares y aplicaciones. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo. 2020. pág. 53.
13. **COMUNIDAD FS.** Comunidad FS. [En línea] 22 de Octubre de 2018. [Citado el: 30 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://community.fs.com/es/article/abc-of-pon-understanding-olt-onu-ont-and-odn.html>.

14. **DAWSON, Doug.** POTs and PANs. [En línea] 31 de Enero de 2014. [Citado el: 31 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://potsandpansbyccg.com/2014/01/31/primer-on-docsis/>.
15. **DE LUZ, Sergio.** Qué es y cómo funciona la tecnología GPON: secretos técnicos. [En línea] 07 de Diciembre de 2023. [Citado el: 31 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/tecnologia-ftth-gpon-que-es-funcionamiento/>.
16. **FAN, Zhiqiang, et. al.** *Real-Time Eye Diagram Monitoring for Optical Signals Based on Optical Sampling*. Vol. 13.2023. págs. 1363-1363.
17. **FANDIÑO, Cristrian & SIERRA, Andrés.** Comparativa Normas IEE 802.X. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2022. pág. 6.
18. **FRANCO, Enar, JARABO, Sebastián & SALGADO, Francisco.** *Amplificador y láser de fibra óptica de sílice dopada con tulio*. 2020. págs. 1-14.
19. **FURUKAWA.** *Furukawatam*. Furukawatam. [En línea] 2018. [Citado el: 30 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://www.furukawatam.com/es/catalogo-de-productos-detalles/splitter-optico-modular-19#:~:text=Splitters%20%C3%93pticos%20son%20componentes%20pasivos,dos%20entradas%20y%20N%20salidas>.
20. **GARCÍA, Joban & PALACIOS, Wilser.** *Multiplexación por división en longitudes de ondas densas*. Ingeniería Electronica, Institución Universitaria de Envigado. 2013. págs. 1-7, Revision bibliográfica.
21. **GLOBALTECNOLY.** *Globaltecnoly*. [En línea] 2022 de Febreo de 14. [Citado el: 30 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://globaltecnoly.com/tienda/caja-distribucion-fibra-optica-24-empalmes-16-acopladores-exterior/>.
22. **GÓMEZ, María & MOREJÓN, Gaibor.** Estudio y diseño de una red de acceso GPON para los servicios de telecomunicaciones triple play (voz, video y datos) en el sector oriental de la ciudad de Riobamba. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2013. pág. 141.
23. **GRAZZINI, Homer.** *Fibras ópticas: Conceptos teóricos y aplicaciones prácticas*. [ed.] Jorge Sarmiento. Córdoba, 2020. págs. 20-30.
24. **GUPTA, Alicia & JOSHI, Beker.** “Hybrid Error Detection Based Spectrum Sharing Protocol for Cognitive Radio Networks with BER Analysis”. *Springer*, 2023.
25. **HA, Sangtae, et. al.** *Toward Programmable DOCSIS 4.0 Networks: Adaptive Modulation in OFDM Channels*. 2021. págs. 441-455.
26. **KEYFIBRE.** *Keyfibre*. [En línea] 29 de Junio de 2023. [Citado el: 30 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://keyfibre.com/productos-fibra-optica/cables-fibra-optica-multifibra-multitubo/>.

27. **KOUVATSO, Demetres, et. al.** Sobre el modelado del rendimiento y la optimización de las redes DOCSIS HFC. *Ingeniería de rendimiento de redes*. 2021, págs. 682-715.
28. **LACNIC.** *Red de Acceso GPON. Aspectos Técnicos y Despliegue IPv6*. 2020. pág. 94.
29. **LEIME, Edwin & ROMERO, José.** Estado del arte de las redes ópticas de acceso con baja latencia. Carrera de Ingeniería en Sistemas, (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Quito : 2018. pág. 21.
30. **LIN, Yun, et. al.** *Big Data Analysis and Prediction of Electromagnetic Spectrum Resources: A Graph Approach*. 2022. págs. 508-508.
31. **LÓPEZ, Eduardo.** Módulo 9. Red GPON. *FTTH Course*. 2015, 9, pág. 42.
32. **MARTÍNEZ, David.** *Diseño de una Red de Acceso PON FTTH para un Bloque de Edificios por Interior*. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, Universitat Politècnica de València. Valencia: 2021. pág. 50.
33. **MAZUR, Aurora, PEDYASH, Venecia & ROZENVASSER, Doris.** *Evaluation of Quality Parameters of an Intensity-Modulated Optical Transmission System*. págs. 21-37.
34. **MEDIANO, Arturo.** Use The Eye Diagram to Check Your Connections. *Compliance*. [En línea] 30 de Septiembre de 2016. [Citado el: 2 de Febrero de 2024]. Disponible en: <https://incompliancemag.com/article/use-the-eye-diagram-to-check-your-connections/>.
35. **MOHANDASS, Susan & REBA, Pedro.** *BER Analysis of Intelligent Reflecting Surface and Relay Assisted NOMA*. Coimbatore , 2022. págs. 164-170.
36. **MOSQUERA, Andy.** Análisis técnico comparativo de las redes de acceso ópticas pasivas de nueva generación. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Ingeniería en Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador, 2022. pág. 91.
37. **NANING, Sofia, SUGESTI, Erna & TRININGSIH, Kurnia.** *Multipartition DBA method on GPON*. Johor Bahru , 2017. págs. 203-206.
38. **NEOBROADBAND.** Neobroadband. [En línea] 12 de Julio de 2021. [Citado el: 30 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://neobroadband.net/elementos-de-la-red-gpon/>.
39. **NOBOA, Ramiro, LOOR, Miguel & VARGAS, Germán.** Diseño de una red óptica pasiva de acceso para una urbanización ubicada en la vía samborondón. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil , 2011. pág. 8.
40. **OÑATE, Irene.** *Fibraoptica hoy*. [En línea] 5 de Junio de 2014. [Citado el: 30 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://www.fibraoptica hoy.com/amplificadores-opticos-de-alta-potencia/>.
41. **OPTIWAVE.** *Descripción general de OptiSystem*. [En línea] 17 de Agosto de 2022. [Citado el: 31 de Enero de 2024]. Disponible en: [https://optiwave-com.translate.google.com/optisystem-overview/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es-419&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://optiwave-com.translate.google.com/optisystem-overview/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc).
42. **ORDÓÑEZ, Javier.** *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*. 2022. págs. 17-31.

43. **OROZCO, Fabian.** Configuración de servicios en entornos GPON. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universitat Politècnica de València. 2020. pág. 63.
44. **PALTA, Christian & QUINTUÑA, Carlos.** Implementación y gestión de la OLT ZTE ZX10C320 sobre la red PON de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Carrera de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca , 2022. pág. 105.
45. **PAUTASIO, Leticia.** Redes neutrales y asociaciones: ideas creativas para impulsar la fibra óptica en América Latina. *TeleSemana*. [En línea] 14 de Diciembre de 2020. [Citado el: 22 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.telesemana.com/blog/2020/12/14/redes-neutrales-y-asociaciones-ideas-creativas-para-impulsar-la-fibra-optica-en-america-latina/>.
46. **PEÑALOZA, Kléber & INGA, Gerardo.** Planteamiento de normativas y diseño de una herramienta para crear un modelo de diseño de la red interna de servicios de telecomunicaciones con fibra óptica aplicada a soluciones habitacionales de la ciudad de Cuenca para la empresa ETAPA E.P. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Carrera de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca , 2014. pág. 237.
47. **PETERSON , Zachariah.** ¿Qué es un diagrama de ojo? *Altium*. [En línea] 2.0, 1 de Septiembre de 2022. [Citado el: 1 de Febrero de 2024]. Disponible en: <https://resources.altium.com/es/p/what-eye-diagram>.
48. **QUEENTON.** Cantón Queenton Electrónica Tecnología Co., Ltd. [En línea] 2024. [Citado el: 31 de Enero de 2024]. Disponible en: <http://www.qfth.net/olt/zte-olt/zte-zxa10-c320-device.html>.
49. **RAMÍREZ, Manuel & HUAITA, Asencio.** *Redes ópticas modernas*. s.l. : AutanaBooks, 2022. págs. 175-190.
50. **RAMOS, Alba.** Diseño e implementación de una red de acceso con fibra óptica utilizando tecnología VDSL/FTTX para mejorar los servicios de telecomunicaciones, de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública en Guano. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Instituto de Postgrado y Educación Continua, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Guano, 2019. pág. 147.
51. **REZA, Ehsani & SINDHUJA, Sankaran.** *Introduction to the Electromagnetic Spectrum*. 2014. págs. 1-5.
52. **RF AND WIRELESS TERMINOLOGIES.** *RF And Wireless Terminologies*. [En línea] 2023. [Citado el: 31 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/OTN-Interfaces-OTU1-OTU2-OTU3-OTU4.html>.
53. **RODRÍGUEZ, Gustavo.** *Evaluación de la iluminación híbrida de concreto liviano con cantidades diferentes de fibra óptica plástica A4b*. 2021. págs. 152-161.

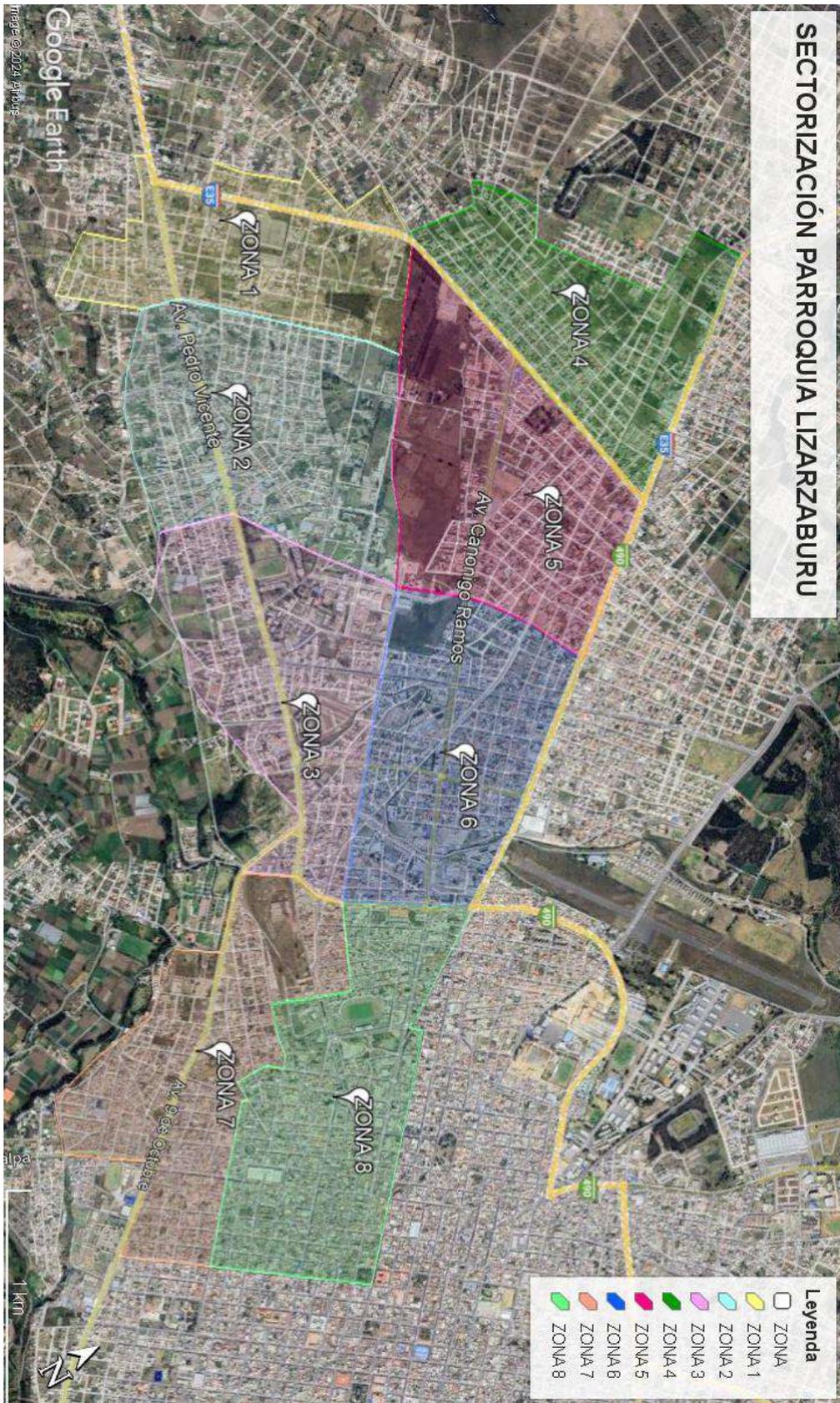
54. **ROTARU, D, Tan, S & WEIYANG, M.** *Eye Diagram Analysis with Deep Neural Networks for Signal Integrity Applications*. Singapore , 2022. págs. 212-217. Vol. 1.
55. **TANSCEIVERS, FIBER OPTICAL.** Fiber Optical Tansceivers. [En línea] 6 de Enero de 2020. [Citado el: 2 de Febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.fiber-optical-transceivers.com/info/know-more-about-eye-diagram-44508477.html>.
56. **TOMASI, Walter.** *Sistemas de comunicaciones Electrónicas*. México : Perarson Education, 2003. págs. 422-465.
57. **TP-LINK.** DOCSIS 3.0 Cable Modem. [En línea] 2006. [Citado el: 31 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://www.tp-link.com/us/home-networking/cable-modem-router/tc-7610/>.
58. **UBUY.** Ubuy. [En línea] 13 de Mayo de 2021. [Citado el: 31 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://www.ubuy.ec/es/product/1GLIZ5FZ8-humax-hgd310-docsis-3-1-cable-modem-approved-for-xfinity-spectrum-black-max-internet-speed-plan-2000-mbps>.
59. **VIAVI SOLUTIONS INC.** Pruebas de la tasa de errores de bits (BERT). [En línea] 2019. [Citado el: 31 de Enero de 2024]. Disponible en: [https://www.viavisolutions.com/es-es/productos/pruebas-de-la-tasa-de-errores-de-bits-bert#:~:text=La%20tasa%20de%20errores%20de%20bits%20\(BER\)%20constituye%20una%20forma,la%20calidad%20de%20la%20se%C3%B1al](https://www.viavisolutions.com/es-es/productos/pruebas-de-la-tasa-de-errores-de-bits-bert#:~:text=La%20tasa%20de%20errores%20de%20bits%20(BER)%20constituye%20una%20forma,la%20calidad%20de%20la%20se%C3%B1al)
60. **XIAOLU.** Qsfptek. [En línea] 08 de Octubre de 2023. [Citado el: 30 de Enero de 2024]. Disponible en: <https://www.qsfptek.com/qt-news/gpon-sfp-transceivers-in-detailed-introduction.html>.
61. **YAM, Alfredo.** Caracterización del esparcimiento brillouin estimulado en 25 km de fibra óptica smf-28. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo. Quintana Roo, 2018. pág. 74.

Total 61 referencias bibliográficas

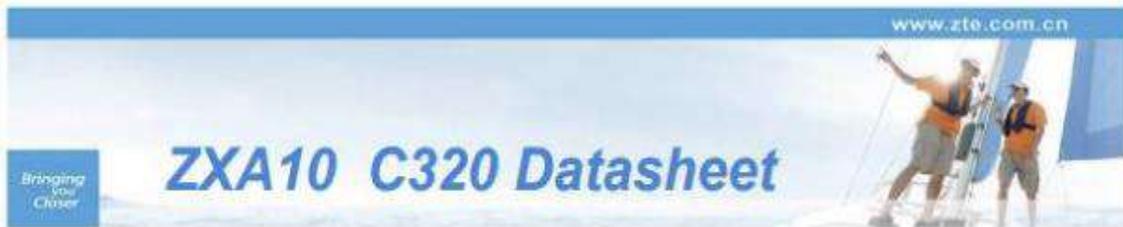


# ANEXOS

## ANEXO A: SECTORIZACIÓN PARROQUIA LIZARZABURU



## ANEXO B: DATASHEET ZXA10 C320



With the requirements of communication services increasing, the value-added services (VAS) including 3G network games, video conference/phone, Video on Demand (VoD) and IPTV are key means for operators to provide differential services to attract more subscribers, and gain income growth.

ZTE ZXA10 C320, a small size, full-service optical access convergent platform, provides carrier class QoS and reliable network to meet the requirements for small-scale implementation of FTTx services.



### Key Features

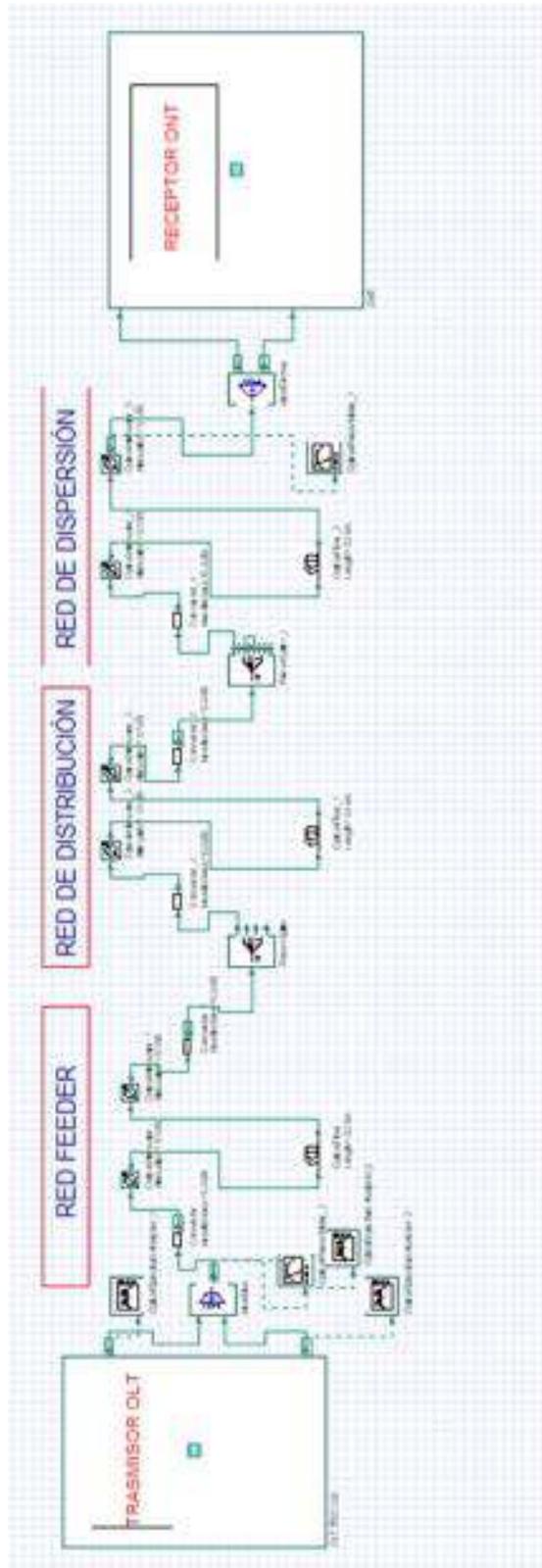
- Unified platform for GPON, XG-PON1 and P2P
- Small size and compact design, flexible network and fast deployment
- 2U frame with 2 service slots, compatible with ZXA10 C300 line cards
- Abundant service support capability: IPTV, VoIP, HSI, VPN, mobile backhaul, etc
- Higher security assurance: ONT authentication, user ID identification, port isolation, address binding, packet filtering, and broadcast packet suppression.
- High reliability: key parts redundancy; support Type B and Type C protection for PON downlink and LACP/ UAPS/STP/ERPS for uplink
- Service differentiation: Comprehensive QoS mechanisms for voice, video and high speed Internet services.
- Support DC input redundancy
- Support AC power supply
- Support 1:1 protection for PON interfaces
- Support 1:1 protection for SW (core card) card
- Support 1588V2 and Synchronous Ethernet
- Support embedded OTDR in SFP

### Technical Specifications

#### ■ System Architecture

- Capacity
  - GPON up to 32 ports
  - Uplink interfaces up to 4 \*GE (Optical) + 2 \*GE (Electronic) or 2 \*10GE (Optical) + 2 \*GE (Optical) + 2 \*GE (Electronic)
- Chassis Configuration (19")
  - Total 5 slots
  - 2 slots for universal line cards
  - 2 slots for switch & control cards
  - 1 slot for fan module
- Subscriber Card Density
  - GPON card: 8/16 ports per card
  - XG-PON1 card: 8 ports per card
  - P2P card: 24/48 ports per card

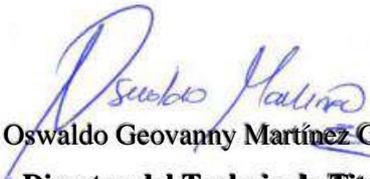
## ANEXO C: SIMULACIÓN OPTISYSTEM





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 13/06/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Cristian David Casa Casa
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Facultad de Informática y Electrónica
<b>Carrera:</b> Telecomunicaciones
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Telecomunicaciones
 <b>Oswaldo Geovanny Martínez Guashima</b> <b>Director del Trabajo de Titulación</b>
 <b>Jorge Vicente Yuquilema Illapa</b> <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>